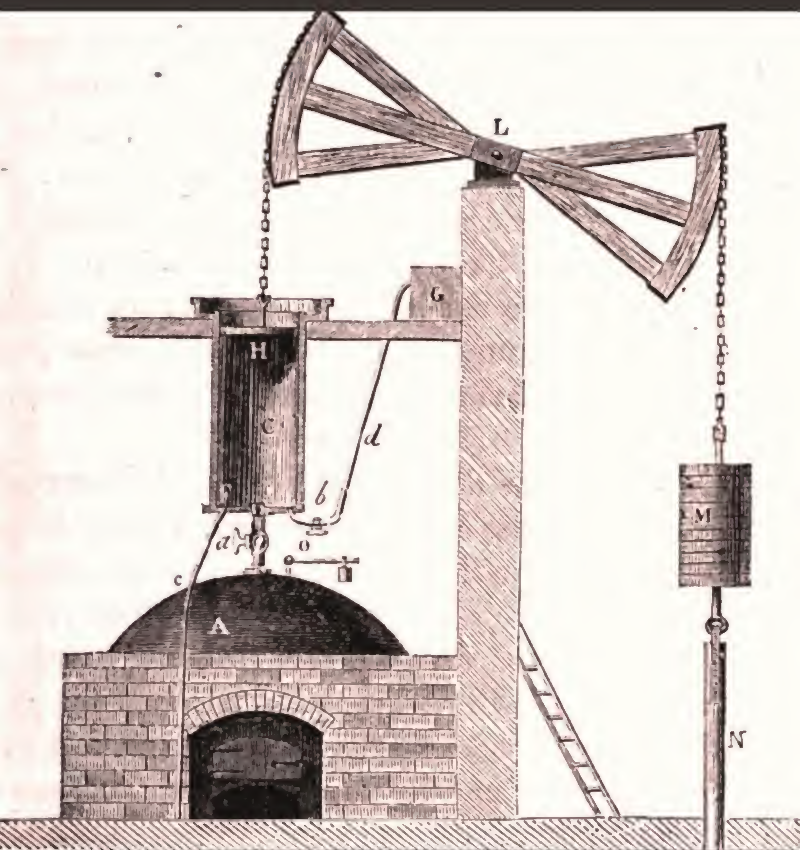


Exposition et histoire des principales découvertes ...

Louis Figuier


AUCTOR
PRETIOSA
FACIT

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES

Corbeil, typ. et stér. de Crété.

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES

PAR

Guillaume LOUIS FIGUIER

SIXIÈME ÉDITION

TOME PREMIER

MACHINE A VAPEUR. — BATEAUX A VAPEUR. — CHEMINS DE FER.

PARIS

GARNIER FRÈRES
RUE DES SAINTS-PÈRES, 6

VICTOR MASSON ET FILS
PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

1862

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES

LA MACHINE A VAPEUR

CHAPITRE PREMIER

Notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge.

La plupart des écrivains qui se sont occupés de l'histoire de la machine à vapeur ont placé dans l'antiquité le berceau de cette invention. Cette opinion nous semble inadmissible. La machine à vapeur est d'origine moderne, et c'est vainement que l'on essaierait de chercher dans les vagues traditions scientifiques de la Grèce et de Rome la trace des idées qui présidèrent à sa création. La science que nous désignons aujourd'hui sous le nom de *physique* n'existait pas chez les anciens. Quelques connaissances dues au hasard, ou introduites par la pratique des arts vulgaires, résument pour nous toute la physique des Grecs. C'est que l'art d'observer, le secret d'étudier un fait en l'isolant, par une opération de l'esprit, de tout ce qui l'entoure, fut à peu près ignoré des

anciens. La vague et poétique imagination des philosophes de la Grèce avait entraîné la science naissante dans une voie diamétralement opposée à celle de ses progrès. Au lieu d'observer les choses qui tombent sous les sens, on cherchait à pénétrer la nature intime de tous les phénomènes, à remonter jusqu'à la secrète essence de leurs causes. L'importance et la grandeur des faits attiraient surtout l'attention ; on s'attachait obstinément à poursuivre des problèmes destinés à rester à jamais insolubles ; on construisait l'univers avant de l'avoir entrevu. Cette philosophie arrêta, dès le début, les sciences physiques et retarda de vingt siècles leur création. Placer au sein d'une pareille époque l'origine de la découverte la plus importante des temps modernes, c'est donc fausser ouvertement les traditions de l'histoire, et le rapide examen des faits montrera sur quelles bases futiles cette opinion s'était fondée.

C'est à un écrivain grec d'Alexandrie, Héron, qui vivait cent vingt ans avant l'ère chrétienne, que la plupart des auteurs modernes rapportent, avec Robert Stuart et Arago, « l'hon-
« neur d'avoir inventé et construit la première machine à
« vapeur connue (1). »

Le petit traité de Héron, intitulé *Spiritalia*, renferme les quelques lignes qui ont mérité au philosophe grec d'être proclamé le premier inventeur d'une machine construite dix-huit siècles après lui. Ce livre était loin de prétendre à une destinée si brillante ; ce n'est autre chose, en effet, que ce que nous nommerions aujourd'hui un recueil de physique amusante. Il renferme la description d'une série d'appareils destinés à manifester certains effets curieux de l'air et de l'eau ; les matières y sont exposées sans ordre et sans liaison logique : aucune explication, aucune théorie ne s'y

(1) Robert Stuart (Robert Mickleham), *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 32.

trouve jamais invoquée. Pour que nos lecteurs puissent en juger par eux-mêmes, nous rapporterons les divers passages sur lesquels on s'appuie pour accorder à Héron la première idée de la machine à feu.

Le quarante-cinquième appareil décrit par le philosophe grec se compose d'une marmite contenant de l'eau et fermée de toutes parts, à l'exception d'une ouverture donnant accès à un tube vertical ouvert. Dans l'intérieur de ce tube on place une petite boule ; par l'action de la chaleur, cette boule est projetée au dehors. M. Lalanne, dans un travail rempli d'érudition, publié, en 1852, dans l'*Encyclopédie moderne*, a donné à cet appareil de Héron le nom de *marmite à vapeur chassant un projectile*. Nous l'appellerions plus simplement *marmite soulevant son couvercle*, et nous n'avons pas besoin d'ajouter que la découverte d'un tel fait n'appartient pas à Héron, mais bien au premier homme qui, assis au coin de son foyer, vit le couvercle de la marmite où cuisaient ses aliments se soulever par l'effort de la vapeur d'eau. Si les titres du philosophe grec à la découverte de la machine à vapeur ne reposaient pas sur des fondements plus sérieux, il aurait à soutenir avec quelque petit-fils d'Adam une discussion de priorité.

Dans les figures suivantes, Héron décrit divers mécanismes qui permettent, au moyen de l'air comprimé ou dilaté par l'action du feu, de faire sonner la trompette d'un automate, siffler un dragon de bois, ou tourner en rond de petits bonshommes. Nous ne dirons rien de tous ces appareils, qui ne sont que des variations sans fin de l'instrument connu et expérimenté dans les cours publics sous le nom de *fontaine de Héron*. Nous arriverons tout de suite au passage célèbre où se trouve décrit le petit appareil que l'on considère aujourd'hui comme le premier modèle de la machine à vapeur. Voici le texte original du philosophe grec :

« *Faire tourner une petite sphère sur son axe au moyen d'une marmite chauffée.* — Soit AB une marmite contenant de l'eau et soumise à l'action de la chaleur. On la ferme au moyen d'un couvercle CD que traverse le tube recourbé EFG dont l'extrémité G pénètre dans la petite sphère creuse HK suivant un diamètre. A l'autre extrémité du diamètre est placé le pivot qui est fixé sur le couvercle CD au moyen de la tige pleine LM. De la sphère sortent deux tubes placés suivant un diamètre (à angle droit sur le premier), et recourbés à angles droits en sens inverse l'un de l'autre. Lorsque la marmite sera échauffée, la vapeur passera par le tube EFG dans la sphère, et, sortant par les tubes infléchis (à angles droits), fera tourner la sphère de la même manière que les automates qui dansent en rond (1). »

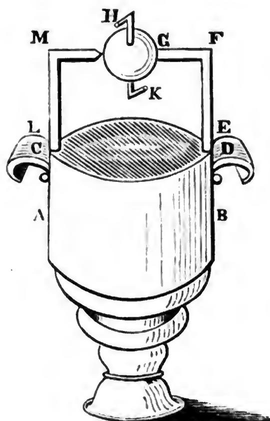


Fig. 1.

Tel est l'appareil signalé par Arago comme « le premier « exemple de l'emploi de la vapeur comme force motrice (2). » Est-il nécessaire de dire qu'en décrivant ce joujou qui tourne *comme des automates qui dansent en rond*, le philosophe d'Alexandrie ne le présentait nullement comme pouvant devenir l'origine d'une force motrice ? Toutes les expériences exposées dans son traité ne sont que des tours de physique amusante, et l'auteur ne perd pas son temps à étudier les causes des phénomènes qu'il décrit. Si l'on voulait d'ailleurs

(1) *Heronis Alexandri Spiritalia* (*Veterum mathematicorum opera*, in-4°, p. 202).
(2) *Notice historique sur les machines à vapeur* (*Notices scientifiques*, t. II, p. 6).

rechercher quelle interprétation théorique Héron accordait à ce fait, on ne pourrait, d'après son texte même, le rapporter qu'à la seule action de la chaleur. Il dit, en effet, dans l'énoncé du problème, « faire tourner une petite sphère au « moyen d'une marmite chauffée, » et non « au moyen de « la vapeur d'eau. » Héron ne pouvait ici faire jouer aucun rôle à la vapeur d'eau, par cette raison fort simple que l'existence même de la vapeur était inconnue de son temps. Avec tous les philosophes de son époque, Héron ne voyait dans la vaporisation d'un liquide que sa transformation en air, et dans son livre il ne fait jamais allusion qu'aux effets mécaniques produits par l'air comprimé ou dilaté par le feu. Aussi les physiciens qui sont venus après lui n'ont-ils expliqué le phénomène de la rotation de sa petite sphère que par l'écoulement et la réaction de l'air chaud, qui provenait lui-même de la transformation de l'eau en air. On trouve, dans une autre partie de l'ouvrage de Héron, la description d'un petit appareil en tout semblable au précédent, et dans lequel seulement un courant d'air chaud remplace le courant de vapeur.

Le jouet décrit par Héron d'Alexandrie ne nous semble donc mériter à aucun titre l'honneur de figurer dans l'histoire de la machine à vapeur. L'existence même de la vapeur d'eau étant ignorée des anciens, il est difficile d'admettre que l'on ait pu à cette époque imaginer une machine fondée sur la connaissance des propriétés de cet agent (1).

(1) Cette erreur de l'ancienne physique sur la transformation de l'eau en air par l'action de la chaleur se prolonge d'ailleurs bien longtemps après le philosophe d'Alexandrie. Le célèbre architecte romain Vitruve, contemporain d'Auguste, dit en parlant de l'*éolipyle*, appareil très-anciennement connu : « Les éolipyles sont des boules d'airain qui sont « creuses et qui n'ont qu'un très-petit trou par lequel on les remplit « d'eau. Ces boules ne poussent aucun air avant d'être échauffées ; mais « étant mises devant le feu, aussitôt qu'elles sentent la chaleur, elles « envoient un vent impétueux vers le feu, et ainsi enseignent par cette « petite expérience des vérités importantes sur la nature de l'air et des « vents. » Ces vues erronées étaient encore professées au XVIe siècle.

On ne sera pas surpris, d'après les idées inexactes qui ont régné si longtemps sur le phénomène de la vaporisation des liquides, de voir des siècles entiers s'écouler sans apporter la moindre notion sur les effets mécaniques de la vapeur. Cette circonstance explique la pénurie d'arguments et de faits dans laquelle se sont trouvés les écrivains qui ont voulu placer à une époque reculée l'origine de l'invention qui nous occupe. Pour montrer à quelles pauvres ressources on est réduit sous ce rapport, il nous suffira de rappeler l'anecdote de l'historien byzantin Agathias, que l'on a coutume d'invoquer à cette occasion. M. Lalanne, dans le travail cité plus haut, donne, d'après M. Léon Rénier, la traduction suivante de ce passage de l'ouvrage d'Agathias :

« Il y avait à Byzance un homme appelé Zénon, inscrit sur la liste des avocats, distingué d'ailleurs, et très-bien avec l'empereur. Il était voisin d'Anthémius (1), au point que leurs deux maisons paraissaient n'en faire qu'une et être comprises dans les mêmes limites. A la longue, une mésintelligence éclata entre eux, soit pour une fenêtre ouverte contrairement à l'usage, soit pour un bâtiment dont la hauteur excessive interceptait le jour, soit enfin pour quelqu'une de ces nombreuses causes qui ne manquent jamais d'amener des dissensions entre très-proches voisins.

« Anthémius, ayant eu le dessous devant les tribunaux, ainsi qu'il devait s'y attendre, ayant pour adversaire un avocat, et n'étant pas capable de lutter d'éloquence avec lui, imagina pour se venger le tour suivant, que lui fournit l'art qu'il cultivait.

Cardan, par exemple, s'exprimait ainsi : « Vitruve apprend à faire des « vases qui produisent du vent : ils sont ronds et fermés de toutes parts, « à la réserve d'un seul trou qui est muni d'un tuyau très-étroit ; on « les remplit d'eau et on les présente au feu ; le liquide se transforme en « air, s'échappe par le tuyau, et augmente l'ardeur du brasier. » Au XVIIe siècle, Claude Perrault, dans sa traduction de Vitruve, reproduit cette théorie. A la même époque, l'illustre physicien Boyle continuait à admettre la transformation de l'eau en air par l'action de la chaleur.

(1) Anthémius de Tralles, le plus habile architecte du temps de l'empereur Justinien, et qui construisit l'église de Sainte-Sophie.

« Zénon possédait un appartement très-élevé, très-large, très-beau et très-orné, où il avait l'habitude de recevoir ses amis et de traiter ceux qui lui étaient le plus chers. Le rez-de-chaussée de cet appartement appartenait à Anthémius, de sorte que le plancher intermédiaire servait de toit à l'un et de sol à l'autre. Anthémius fit placer dans ce rez-de-chaussée de grandes chaudières pleines d'eau, qu'il entoura extérieurement de tuyaux de cuir assez larges à leur base pour embrasser entièrement le bord des chaudières, mais diminuant ensuite de diamètre comme une trompette et se terminant dans des proportions convenables. Il fixa les bouts de ces tuyaux aux poutres et aux planches du plafond, et les y attacha avec soin ; de sorte que l'air qui y était introduit avait le passage libre pour s'élever dans l'intérieur vide des tuyaux et aller frapper le plafond à nu, dans l'endoit où il lui était permis d'arriver, et qui était entouré par le cuir, mais ne pouvant s'écouler ni s'échapper au dehors. Ayant donc fait secrètement ces préparatifs, Anthémius alluma un grand feu sous les chaudières et y produisit une grande flamme, et l'eau s'échauflant bientôt et entrant en ébullition, il s'en éleva beaucoup de vapeur épaisse et fumeuse qui, ne pouvant s'échapper, monta dans les tuyaux et s'y élança avec d'autant plus de violence qu'elle était resserrée dans un plus étroit espace, jusqu'à ce que, frappant continuellement le plafond, elle l'ébranla tout entier, au point de faire légèrement trembler et crier les bois. Or, Zénon et ses amis furent troublés et épouvantés, et ils s'élancèrent dans la rue en criant et poussant des exclamations, et Zénon, s'étant rendu au palais de l'empereur, demandait aux personnes de sa connaissance ce qu'elles savaient du tremblement de terre, et s'il ne leur avait pas causé quelque dommage. »

D'après nos connaissances sur les propriétés de la vapeur d'eau, cette expérience, telle qu'elle est rapportée par Agathias, ne pouvait en aucune manière produire les résultats qui viennent d'être rapportés. Aussi M. de Montgéry, qui publia en 1823, dans les *Annales de l'industrie*, une série d'articles en vue de rechercher l'origine de la machine à vapeur dans l'antiquité, n'admet-il point que le mécanisme décrit par Agathias soit le même que celui qu'employa Anthémius : « L'extrémité évasée des tuyaux, dit M. de Mont-

« géry, devait être placée sous les poutres, et non au delà ; « elle devait s'ouvrir tout à coup au moyen d'une soupape « ou d'un robinet : alors seulement il y aurait eu une vive « secousse (1). » Par malheur, l'historien de Byzance ne fait mention ni de robinet ni de soupape ; il est donc plus simple de regarder comme apocryphe l'aventure romanesque d'Agathias.

C'est avec un sentiment semblable qu'il faut accueillir l'assertion émise par Robert Stuart en ces termes laconiques : « En 1563 un certain Mathésius, dans un volume de ser« mons intitulé *Sarepta*, parle de la possibilité de construire « un appareil dont l'action et les propriétés paraissent sem« blables à celles de la machine à vapeur moderne (2). »

Ce Mathésius, d'après M. Lalanne, était maître d'école à Joachimstall, ville de Bohême autrefois célèbre par ses mines d'argent, de cuivre et d'étain. Son ouvrage, imprimé à Nuremberg en 1562, n'est qu'un livre de prières : c'est le *Sermonnaire des mines*. Le passage auquel l'écrivain anglais fait allusion est ainsi conçu :

« Au moyen de l'eau, du vent et du feu, et moyennant de beaux mécanismes, que l'eau et le minerai s'élèvent et soient mis en mouvement de plus grandes profondeurs, afin que la dépense soit diminuée et que ces trésors cachés puissent être d'autant plus tôt percés et mis au jour... Vous, mineurs, glorifiez dans les chants des mines l'excellent homme qui fait monter aujourd'hui le minerai et l'eau sur le Platten au moyen du vent, et comment maintenant on élève l'eau au jour avec le feu. »

Il faut beaucoup de bonne volonté pour trouver dans le texte de cette exhortation évangélique l'indication d'un appareil « dont l'action et les propriétés paraissent semblables

(1) *Annales de l'industrie nationale et étrangère*, t. IX, p. 70.
(2) Robert Stuart (Robert Mickleham), *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 32.

« à celles de la machine à vapeur moderne. » Il pouvait exister dans les mines diverses machines mues par le vent ou par l'air échauffé ; mais rien n'indique, dans la pieuse invocation de Mathésius, l'allusion, même la plus voilée, à une machine agissant au moyen de l'eau réduite en vapeurs.

Robert Stuart ajoute : « Trente ans après, dans un livre « imprimé à Leipsick en 1597, on trouve la description de « ce qu'on appelle un éolipyle, que l'on peut, dit-on, utiliser « en l'adaptant à un tournebroche. » L'éolipyle, appareil connu depuis une époque très-reculée, a beaucoup attiré l'attention des physiciens du moyen âge, qui ignoraient cependant la cause des effets curieux qu'il produit, et s'imaginaient que l'eau s'y transformait en air. Il n'est donc pas impossible que l'insignifiante et pauvre application dont parle Robert Stuart ait pu être réalisée, bien qu'il ne nous donne aucune indication positive sur l'ouvrage qui la mentionne.

Arago et tous les écrivains français qui, s'occupant après lui de l'histoire de la machine à vapeur, se sont bornés à reproduire ses opinions, admettent que la première expérience relative aux effets mécaniques de la vapeur d'eau a été faite au commencement du XVIIe siècle, par un gentilhomme de la chambre de Henri IV, nommé David Rivault, seigneur de Flurance, précepteur de Louis XIII.

« Pour rencontrer, dit Arago, après les premiers aperçus des philosophes grecs, quelques notions utiles sur les propriétés de la vapeur d'eau, on se voit obligé de franchir un intervalle de près de vingt siècles. Il est vrai qu'alors des expériences précises, concluantes, irrésistibles, succèdent à des conjectures dénuées de preuves.

« En 1605, Flurance Rivault, gentilhomme de la chambre de Henri IV et précepteur de Louis XIII, découvre, par exemple, qu'une bombe à parois épaisses, et contenant de l'eau, fait tôt ou tard explosion quand on la place sur le feu *après l'avoir bou-*

chée, c'est-à-dire lorsqu'on empêche la *vapeur* d'eau de se répandre librement dans l'air à mesure qu'elle s'engendre. La puissance de la vapeur d'eau se trouve ici caractérisée par une épreuve nette et susceptible jusqu'à un certain point d'appréciations numériques ; mais elle se présente encore à nous comme un terrible moyen de destruction (1). »

Arago nous dit encore, à propos de l'expérience du marquis de Worcester, qui fit, dit-on, éclater un canon par l'action de la vapeur :

« Cette expérience était déjà connue en 1605, car Flurance Rivault dit expressément que les éolipyles crèvent avec fracas quand on empêche la vapeur de s'échapper. Il ajoute même : « L'effet de la raréfaction de l'eau a de quoi épouvanter les plus « assurés des hommes (2). »

La meilleure manière de reconnaître si Arago a exactement traduit la pensée de l'auteur des *Éléments d'artillerie*, c'est évidemment de recourir à l'ouvrage lui-même. Le passage auquel Arago fait allusion se trouve au livre III, dans lequel Flurance Rivault cherche à établir la nature des substances qui peuvent entrer dans la composition de la poudre. Voici textuellement ce passage :

« *Conjecturer les ingrédiens de la bonne poudre à canon.* — Il est certain que cherchans une prompte raréfaction, il faut l'avancer par la chaleur ; car il n'y a point en la nature de plus agissante qualité. Le froid agit ; mais il resserre. Les deux autres, sécheresse et humidité, n'ont que fort peu d'action et plutôt nous doivent servir de matière et de patient en ce dessein que d'agent. Voyons du froid s'il nous est propre. *L'eau humide qui se convertit en air se raréfie*, et en est la raréfaction suivie de violence. Voyez-vous ces instruments d'airain globeux et creux, qui ont un trou par lequel on verse l'eau. Les Grecs les ont nommés

(1) *Notice biographique sur James Watt* (*Notices biographiques*, t. I, p. 394).
(2) *Notice historique sur les machines à vapeur* (*Notices scientifiques*, t. II, p. 19).

portes d'Éole, parce que si vous les approchez du feu, le métal en est eschauffé, et l'eau quand et quand, *laquelle peu à peu se convertit en air par l'action de la chaleur, et estant faicte rare et vent*, elle sort par le trou avec force, et après ravive le feu par son souffle, qui le premier luy avoit donné estre. Il y a quelque apparence que si ce nouvel aër ne trouvoit lors issue libre par la petite porte, qu'il briseroit le vaisseau pour se donner jour : *ainsi que l'humidité de la chastaigne aéréfiée par le feu, la faict esclater rudement, pour se donner libre estendue. Que si la furie de cet esclat n'a d'estonnement que pour les enfans, l'effect de la raréfaction de l'eau a de quoy espouvanter les plus asseurés hommes en l'accident des tremblemens de terre.* L'eau coulée ès cavernes de la terre au printems principalement et en automne, y est eschauffée, soit par les feux qu'elle y rencontre souvent, soit par les chaudes exhalaisons qui sortent des soupiraux terrestres : tant que raréfiée et convertie en aër, le lieu qui la contenoit auparavant n'est plus capable d'embrasser si longues et si larges dimensions : tellement que pressée de s'estendre et violentée par cet hoste devenu puissant, la terre s'entrouvre pour lui faire jour avec un desbriz espouvantable. Il y a un million d'autres effects de cette raréfaction d'humidité, qui nous pourroyent guider à l'exécution de quelque violence. Mais nous devons y considérer qu'elle ne se fait à coup : ains avec le tems, et que la matière humide ne s'exhalle pas toute à la fois, mais peu à peu. Or nous cherchons de la promptitude et un effect momentané, principalement pour ce qui est de l'action du canon. Car ce n'est pas qu'èz autres artifices du feu nous ne nous servons quelquefois d'humides, quand nous en voulons faire durer la violence. Mais cela n'est pas de ce lieu. Il faut donc nous attacher à la sécheresse, et à un subject sec qui ait peu de résistance contre la chaleur, et soit amy du feu. Car l'humide luy résiste : au contraire le sec est de sa nature mesme. Or ny l'air qui est humide et chaud, ni l'eau qui est froide et humide, ne nous peuvent donner ce corps sec que nous cherchons. L'eau en est la plus incapable, tellement que toutes choses humides et froides doivent être bannies de notre poudre, etc. (1). »

Quand on a lu ce morceau confus, empreint des idées su-

(1) *Les Éléments de l'artillerie, concernant tant la théorie que la pratique du canon*, par le sieur de Flurance Rivault, 1658, p. 150.

rannées de l'ancienne physique, et tout rempli des lieux communs et des divagations qu'elle affectionne, on se demande comment Arago a pu l'honorer d'une interprétation aussi large. Rivault ne parle nullement de vapeur d'eau, comme on le lui fait dire, il parle seulement, d'après les opinions scientifiques de son époque, de la conversion de l'eau en air. Il ne fait aucune allusion à une expérience qu'il aurait exécutée, et il ne nous dit rien de cette « bombe à « parois épaisses, et contenant de l'eau, qui fait tôt ou tard « explosion quand on la place sur le feu après l'avoir bou- « chée. » Il parle tout simplement de châtaignes « dont « l'esclat n'a d'estonnement que pour les enfans ; » et s'il nous dit que « l'effect de la raréfaction de l'eau a de quoy « espouvanter les plus asseurés hommes, » il a soin d'ajouter « en l'accident des tremblemens de terre, » complément explicatif qui ramène le fait à sa véritable expression. Et convenez que cet *accident des tremblements de terre* et cette *furie des châtaignes* sont bien faits pour réduire à sa juste valeur la prétendue découverte du précepteur de Louis XIII et pour affaiblir ses droits à la reconnaissance de la postérité.

Ainsi, jusqu'à la fin du XVIe siècle, aucune notion ne fut acquise concernant l'application des effets mécaniques de la vapeur d'eau. Ce fait ne surprend point quand on se rappelle que toutes les connaissances que nous résumons aujourd'hui sous le nom de physique étaient enveloppées à cette époque de l'obscurité la plus profonde. La création des sciences positives pouvait seule apporter les faits précis qui devaient servir de point de départ à la découverte des effets mécaniques de la vapeur d'eau et déterminer son emploi comme force motrice.

CHAPITRE II

Création de la méthode scientifique. — Bacon, Descartes et Galilée. — Salomon de Caus, sa vie et ses écrits ; sa prétendue découverte de la machine à vapeur.

C'est de la fin du XVIe siècle que date la création des sciences physiques ; elles n'avaient jusque-là existé que de nom. Depuis la chute de l'empire des Arabes, l'école d'Aristote courbait sous son joug l'intelligence humaine. Le syllogisme pour tout instrument de recherches, de prétendues causes absolues pour point de départ et pour but, et pour règle suprême la parole du maître ; le témoignage des sens récusé, les mystères religieux liés aux faits scientifiques, et tout ce bizarre assemblage de conceptions stériles qui méritent à peine l'honneur d'être conservées, arrêtaient depuis dix siècles la marche de l'esprit humain. C'est en vain que, par intervalles, quelques hommes de génie avaient essayé de lutter contre le despotisme de l'autorité traditionnelle, et fait briller aux yeux du monde les vrais principes de la philosophie naturelle. Ramus, Roger Bacon, Jordano Bruno, Cardan et plusieurs autres, courageux réformateurs, avaient expié par la persécution ou la mort le crime d'avoir pensé. Ce honteux et déplorable empire devait enfin avoir son terme. La réformation religieuse accomplie par Luther avait fondé la liberté de conscience ; les premières lueurs de l'émancipation politique commençaient à se lever sur les nations de l'Europe : une transformation semblable ne tarda pas à s'opérer dans les sciences, et compléta la révolution salutaire qui devait mettre l'humanité en possession de ses droits. C'est alors qu'apparaissent à la

fois sur la scène du monde trois hommes destinés à jeter dans l'Europe régénérée les bases de l'édifice nouveau des connaissances humaines : Bacon en Angleterre, Descartes en France, et Galilée en Italie, sont les auteurs de cette révolution mémorable. Divers de pays, d'esprit et de caractère, ils attaquent, selon les formes et les aptitudes particulières de leur génie, l'échafaudage antique des doctrines qui asservissaient l'esprit humain; leurs hardis et salutaires efforts le renversent à jamais, et élèvent sur ses débris une philosophie nouvelle. Donnant le précepte et l'exemple, ils enseignent au monde la véritable méthode à suivre dans les recherches scientifiques, et marquent par leurs découvertes les premiers pas de la science naissante.

La révolution scientifique accomplie par les préceptes de Bacon, les découvertes de Galilée et les écrits de Descartes, embrasse une période bien tranchée. Commencée dans les dernières années du XVI[e] siècle, à l'époque des premiers travaux de Galilée, elle se termine vers le milieu du siècle suivant, en 1642, à la mort de ce savant. C'est seulement alors que le triomphe de la philosophie nouvelle est définitivement établi, et que la science, fondée désormais sur une base inébranlable, peut marcher sans entraves dans les voies de la vérité. Mais pendant l'intervalle d'un demi-siècle que cette période mesure, la science a péniblement à lutter contre les restes de l'esprit philosophique du passé, et elle n'est pas toujours victorieuse. Pendant longtemps encore l'ombre des vieilles erreurs enveloppe les conceptions des savants. Une métaphysique obscure embarrasse les théories de la science ; les idées religieuses et morales continuent à se mêler aux explications physiques ; on raisonne sur le plein et le vide, sur les qualités essentielles et sur les qualités accidentelles des corps ; on disserte sur le sec et l'humide, sur le nombre et les propriétés des éléments ; on s'obstine à discuter stérilement l'essence intime des phénomènes ; on

élève des hypothèses sans fin sur la nature du feu, sur la mixtion des éléments ; on prête à la nature des affections morales ; on se perd, en un mot, dans la vaine subtilité des théories de la scolastique. Aussi l'expérience est-elle à peine invoquée, et quand on essaie d'y recourir, c'est toujours sur des sujets puérils ou ridicules que va s'exercer l'imagination des physiciens. On entreprend des recherches mécaniques pour expliquer les sons de la statue de Memnon, le jeu mystérieux de l'orgue du pape Sylvestre, ou le vol de la colombe d'Architas ; on écrit des volumes pour découvrir les causes de la dissolution du veau d'or, ou pour savoir combien de milliers d'anges pourraient tenir, sans être pressés, sur la pointe d'une aiguille.

C'est au milieu de cette période à demi barbare de l'histoire des sciences, lorsque rien de ce qui ressemble à la physique n'existait et ne pouvait exister encore, que tous les écrivains se sont accordés jusqu'ici à placer la découverte de la machine à vapeur. En France, c'est à Salomon de Caus, architecte et ingénieur obscur, qui a écrit en 1615 son livre : *les Raisons des forces mouvantes*, que l'on a décerné l'honneur de cette invention. Il n'y a qu'une voix en Angleterre pour l'attribuer au marquis de Worcester, politique brouillon et mécanicien contestable qui vivait sous les derniers Stuarts. Enfin les écrivains italiens revendiquent pour leur pays la première invention de la machine à feu, en invoquant, à ce sujet, les titres du physicien Porta, qui écrivait en 1605, ou ceux de l'architecte Giovanni Branca, qui a publié à Rome, en 1629, un ouvrage sur les machines.

Dans une histoire sérieuse de la machine à vapeur, tous ces noms devraient être écartés. On ne peut avoir songé à construire une machine ayant pour principe la force élastique de la vapeur d'eau, à une époque où l'on confondait avec l'air atmosphérique les fluides qui se dégagent des liquides en ébullition ; quand on ne possédait, sur les effets

mécaniques de la vapeur, que ces notions confuses, acquises depuis des siècles par l'observation vulgaire, et ne se liant à aucune vue théorique; lorsque les principales lois de l'hydrostatique étaient encore un mystère, lorsque les premiers linéaments de la physique générale étaient à peine tracés. Cependant, comme l'opinion contraire, établie sur l'autorité des noms les plus considérables de la science, a joui longtemps d'un grand crédit, nous sommes tenu de l'examiner avec attention.

Les Raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes, aus quelles sont adjoints plusieurs desseings de grotes et fontaines, par Salomon de Caus, *ingénieur et architecte de Son Altesse palatine électorale*, tel est le titre de l'ouvrage qui renferme, dit-on, la description de la première machine à vapeur connue.

M. Baillet, inspecteur des mines, est le premier qui, au commencement de notre siècle, ait signalé, dans le livre, profondément inconnu jusque-là, de Salomon de Caus, un théorème relatif à l'action mécanique de l'eau échauffée, et qui ait prétendu trouver dans les dix lignes de ce théorème l'idée de la machine à vapeur (1). L'étrange procédé historique qui consiste à décerner à quelque écrivain obscur l'honneur de l'une des grandes inventions modernes, sans tenir aucun compte de l'état de la science à son époque, n'avait jamais été couronné d'un succès plus complet. Dans sa célèbre *Notice sur la machine à vapeur*, publiée pour la première fois en 1828, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, Arago adopta et développa l'opinion émise par Baillet. Appuyée sur l'autorité de l'illustre secrétaire de l'Académie

(1) *Notice historique sur les machines à vapeur, machines dont les Français peuvent être regardés comme les premiers inventeurs*, par M. Baillet, inspecteur divisionnaire au corps impérial des mines (*Journal des mines*, mai 1813, p. 321).

des sciences, elle fut promptement admise, et le pauvre ingénieur normand, qui ne s'attendait guère à tant d'honneur, fut ainsi proclamé, d'un accord unanime, l'inventeur de la machine à feu. Laubardemont disait, au XVIIe siècle, qu'avec dix lignes de l'écriture d'un homme, il se chargeait de le faire pendre; notre siècle, plus généreux, avec dix lignes ramassées dans le livre inconnu d'un écrivain obscur, voue sa mémoire à l'immortalité. Cependant de tels arrêts sont susceptibles de révision, et en ce qui concerne Salomon de Caus, c'est une tâche que nous essaierons de remplir.

Il est difficile de juger les écrits d'un savant sans connaître les principaux événements de sa vie. Donnons, en conséquence, quelques détails sur Salomon de Caus, autant qu'il est permis de fournir des renseignements positifs sur un modeste artiste du XVIIe siècle, à peu près ignoré de ses contemporains, et dont la gloire posthume ne devait briller que deux siècles après sa mort.

Le nom de Salomon de Caus n'est cité dans aucun des ouvrages biographiques de son temps, c'est à ses propres écrits qu'il faut emprunter les particularités qui le concernent. Salomon de Caus naquit en 1576. Il était sans doute originaire de Normandie, car un de ses parents, Isaac de Caus, qui publia, quelque temps après lui, un ouvrage d'hydraulique, prend le titre de *Dieppois*. Dans la préface de l'un de ses écrits, Salomon de Caus nous apprend lui-même que les sciences et les arts l'occupèrent dès sa jeunesse, il étudiait la peinture, les langues anciennes et les mathématiques. Porté vers la mécanique par un goût particulier, il s'appliqua de bonne heure à cette science. Ensuite, comme tous les artistes de son époque, il voyagea pour perfectionner ses connaissances. Il se rendit d'abord en Italie, où il séjourna quelque temps. Il passa de là en Angleterre, et réussit à entrer dans la maison du prince de Galles; il fut attaché comme maître de dessin à la princesse Élisabeth. Le prince

de Galles ayant confié à l'artiste français le soin de décorer les jardins de son palais, Salomon de Caus peupla de groupes mythologiques les jardins de Richemont. Tout le personnel de l'Olympe figurait dans les décorations de cette résidence célèbre ; des machines hydrauliques faisaient jaillir les eaux au milieu de ces statues allégoriques.

Cependant la princesse Élisabeth, ayant épousé, en 1613, le duc de Bavière, Frédéric V, se disposait à partir pour l'Allemagne ; elle consentit à emmener avec elle son maître de dessin en qualité d'ingénieur et d'architecte.

Dès son arrivée en Allemagne, Salomon de Caus fut chargé de diriger la construction de bâtiments nouveaux que le duc de Bavière se proposait d'ajouter à son palais de Heidelberg. Il fallait entourer de jardins le nouveau palais ; on livra à l'architecte une sorte de fourré sauvage, le *Friesenberg*, montagne inculte, hérissée de rochers nus et creusée de profonds ravins. L'art changea promptement la face de ces lieux abandonnés. La montagne fut remuée de fond en comble, et bientôt, sur l'emplacement de ce site désert, on vit s'élever de beaux jardins tout remplis d'ombre et de fraîcheur, ornés de maisons de plaisance, décorés d'arcs de triomphe et de portiques, égayés, suivant l'heureux style de cette époque, de fontaines jaillissantes et de grottes rocailleuses. Les délicieux jardins du palais de Heidelberg, qui ont été décrits dans un volume in-folio publié à Francfort en 1620 sous le titre de *Hortus palatinus*, ont fait l'admiration de l'Allemagne jusqu'à l'époque où ils furent détruits pendant l'un des siéges, suivis de pillage, qui désolèrent Heidelberg de 1622 à 1688.

C'est pendant le cours de ces derniers travaux, lorsqu'il dirigeait la construction des jardins de Heidelberg, que Salomon de Caus publia, chez Jean Norton, libraire anglais établi à Francfort, son ouvrage sur les *Forces mouvantes*. Après la dédicace, adressée *au roi très-chrétien* (Louis XIII),

vient une poésie laudative due à la plume d'un certain Jean le Maire, peintre et bel esprit du temps. Un acrostiche du poëte sur le nom de Salomon de Caus nous apprend que l'auteur de cet ouvrage n'était encore qu'en son *printemps*.

Salomon de Caus fit paraître, la même année, un traité sur la musique, intitulé : *Institution harmonique, divisée en deux parties : en la première sont montrées les proportions des intervalles harmoniques, et en la deuxième les compositions d'icelles*. Dans la préface de cet ouvrage, dédié *à la très-illustre et vertueuse dame Anne, royne de la Grande-Bretagne*, l'auteur entreprend une dissertation historique pour prouver l'excellence de la musique, et il invoque l'histoire sacrée et l'histoire profane pour établir l'utilité de cet art, qui, selon lui, « *doit être colloqué au-dessus de toutes les* « *sciences humaines.* » Entre autres preuves des bons effets de la musique, il nous apprend que « *la pudicité de Clitem-* « *nestre, femme d'Agamemnon, fut conservée aussi longtemps* « *qu'un certain musicien dorien demeura avec elle.* »

Cependant l'architecte normand en était arrivé à son automne. Il avait quarante-sept ans, et depuis dix ans il résidait chez le palatin de Bavière. Le désir de revoir son pays, abandonné depuis sa jeunesse, ou la mobilité de son humeur, le décidèrent à se séparer du prince. Il revint en France en 1623. De retour en Normandie, Salomon de Caus continua à vivre de son double métier d'ingénieur et d'architecte. Rien n'indique pourtant qu'il possédât comme ingénieur des talents particuliers, car il resta étranger à tous les grands travaux de construction qui s'exécutèrent sous le règne de Louis XIII, et son nom n'a point laissé de traces dans l'histoire de l'art. Le seul témoignage qui nous reste de ses études à cette époque, est un dernier ouvrage qu'il publia à Paris en 1624 : *la Practique et la démonstration des horloges solaires, avec un discours sur les proportions*. Ce dernier livre est dédié au cardinal de Richelieu.

A cela se bornent tous les renseignements que l'histoire a pu recueillir sur Salomon de Caus. La galerie d'antiquités de la ville de Heidelberg conserve son portrait peint sur bois à la date de 1619. Sa vie est racontée succinctement à l'envers du panneau : on y fixe à l'année 1630 la date de sa mort.

Au milieu des simples événements de cette vie paisible, partagée entre la culture des beaux-arts et les devoirs d'une profession libérale, il est difficile de reconnaître le savant que l'on a coutume de nous représenter comme devançant son époque, et devinant, deux siècles avant nous, les applications mécaniques de la vapeur. L'obscur architecte normand qui passa ignoré de ses contemporains et de ses successeurs, est loin de répondre à ce personnage de génie dont le type convenu semble déjà être acquis à l'histoire. Examinons maintenant les passages de ses écrits que l'on a coutume d'invoquer pour lui attribuer la découverte de la machine à feu.

L'ouvrage de Salomon de Caus, *les Raisons des forces mouvantes*, se compose de trois livres, qui ont pour titres, le premier : *les Raisons des forces mouvantes;* le second : *Desseings de grotes et fontaines propres pour l'ornement des palais, maisons de plaisance et jardins ;* et le troisième : *Fabrique des orgues*. C'est dans le premier livre, *les Raisons des forces mouvantes*, que se trouve l'article relatif à la vapeur d'eau.

Le titre de cet ouvrage pourrait faire croire qu'il est consacré tout entier à l'étude des forces qui mettent en jeu les machines. Cependant il ne renferme que six pages relatives à l'équilibre de la balance, du levier, de la poulie, des roues à pignons dentelés et de la vis; le reste est consacré à la description de diverses machines hydrauliques propres à l'élévation des eaux. Vient ensuite l'exposition des moyens à employer pour construire des grottes artificielles, des fontaines rustiques et des cabinets de verdure pour l'ornement

des jardins. Le troisième livre est un traité pratique assez complet de la fabrication des orgues d'église.

Donnons-en quelques mots une idée des matières contenues dans le premier livre.

Dans un court préambule, l'auteur, suivant les principes de la physique de son temps, annonce qu'il se propose de définir les quatre éléments des corps, parce que tous les effets des machines se rapportent à ces éléments. Comme la définition de l'air contient *une ligne* que l'on invoque quelquefois en faveur de Salomon de Caus, nous citerons textuellement le passage qui la renferme.

« *Définition première.* — Le feu, dit Salomon de Caus, est un élément lumineux, *chaud, très-sec,* et très-léger, lequel par sa chaleur fait grande violence.

« Il y a deux espèces de feu, l'un élémentaire, lequel n'est sujet à corruption, lequel je crois être la chaleur du soleil, car tout autre feu ou chaleur est sujet à nourriture; la seconde espèce de feu est le matériel, lequel est dit ainsi, à cause qu'il est nourri et maintenu de matière corporelle, laquelle matière venant à faillir, faut aussi la chaleur: quant à ce qu'il est dit lumineux, c'est à cause du soleil qui est la vraie lumière naturelle, et mesmement la lumière artificielle procède du feu matériel...; et quant à la violence du feu, la plus grande procède du feu matériel, chacun sait le dommage qu'il fait où il se met; soit par accident ou entreprise délibérée. En Sicile, le feu s'est mis dans la cavité du mont Gibella, autrement dit Ætna, lequel brûle il y a fort longtemps, toutefois il y a apparence que ce feu prendra fin, quand toute la matière sulfurée qui l'entretient finira; la violence aussi de plusieurs inventions de machines de guerre est admirable, lesquelles se font avec la poudre à canon; ainsi le feu matériel nous sert aussi bien à faire du mal comme à faire du bien, et quant au feu élémentaire, il y a aucunes machines en ce livre, lesquelles ont mouvement par le moyen d'iceluy, comme l'élévation des eaux dormantes et autres machines suivantes icelles non démontrées par cy-devant. »

Après cette singulière définition du feu, qui peut donner

une juste idée de la force de ses raisonnements et de ses vues, Salomon de Caus passe à la définition de l'air.

« L'air, dit-il, est un élément froid, sec et léger, lequel se peut presser et se rendre fort violent... L'air est aussi dit léger, car quelque quantité qu'il y ait d'air dans un vaisseau, il n'en sera plus pesant ; et quant à ce qui est dit ici qu'il se peut presser, j'en donnerai ici un exemple : Soit un vaisseau de plomb ou cuivre bien clos et soudé tout à l'entour, marqué A, auquel il y aura un tuyau marqué BC duquel le bout C approchera près du fond dudit vaisseau d'environ un pouce, et au bout B, il y a un petit récipient (entonnoir) pour recevoir l'eau, laquelle verserez dans ledit récipient, et de là descendra au vaisseau, et d'autant que l'air qui est au dedans ledit vaisseau ne peut sortir, et qu'il faut qu'il y ait quelque place, on ne pourra emplir ledit vaisseau, et si le tuyau BC est haut de dix ou douze pieds, il y entrera environ jusques au tiers d'eau, tellement que l'air se pressant, causera une compression, et fera même enfler le vaisseau, s'il n'est fort épais, ce qui démontre que l'air se presse, et que cette compression fait violence, comme il se pourra voir en diverses machines en ce livre. Mais la violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu et que ledit air est enclos, comme, par exemple, soit une balle (ballon) de cuivre d'un pied ou deux de diamètre, et épaisse d'un pouce, laquelle sera remplie d'eau par un petit trou, lequel sera bouché bien fort après avec un clou, en sorte que l'eau ni l'air n'en puissent sortir ; il est certain que si l'on met ladite balle sur un grand feu, en sorte qu'elle devienne fort chaude, qu'il se fera une *compression si violente* que la balle crèvera en pièces, avec bruit semblable à un petart. »

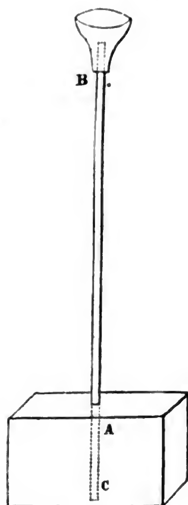


Fig. 2.

La lecture du texte original de Salomon de Caus suffit pour rectifier l'interprétation inexacte que l'on a faite de ce pas-

sage. On voit que la première expérience qu'il rapporte n'a d'autre but que de démontrer la compressibilité de l'air, et de manifester l'un des effets mécaniques auxquels donne naissance l'air comprimé. L'air condensé dans la partie supérieure du vase AC par l'eau que l'on verse dans ce vase, s'oppose, par sa pression, à ce que l'eau vienne occuper toute sa capacité. La seconde expérience n'est destinée qu'à montrer les effets de la compression de l'*air échauffé* et non de la vapeur, comme on l'a si souvent avancé. Salomon de Caus nous apprend que, par l'effet de la pression de l'eau *exhalée en air*, un ballon de cuivre peut éclater en mille pièces. Cette phrase : « *La violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu*, » si souvent invoquée en faveur de Salomon de Caus, prouve seulement qu'il connaissait le fait vulgaire d'un vase métallique rempli d'eau, hermétiquement bouché, et qui éclate par l'action de la chaleur. Mais ce fait était depuis longtemps connu ; on le trouve cité dans plusieurs écrits des alchimistes, et Salomon de Caus se borne à le reproduire, sans se douter de la véritable cause du phénomène ; il n'y voit autre chose que l'effet de l'air engendré par la chaleur et agissant sur l'eau dans un espace fermé.

Après ces définitions, Salomon de Caus passe à l'exposition de divers théorèmes. Le premier est ainsi formulé : « *Les parties des éléments se mêlent ensemble pour un temps, puis chacun retourne à son lieu.* » L'auteur rappelle d'abord que tous les corps de la nature sont « composés et mixtionnés « d'éléments..., comme, par exemple, le bois et toute autre « chose que la terre procure sont mixtionnés de sec et de « l'humide. » Dans le développement de ce théorème, qui est loin d'être toujours intelligible, l'auteur se propose de montrer qu'après la décomposition d'un corps par l'action de la chaleur, chacun de ses éléments *retourne en son lieu*. « comme, par exemple, le bois se détruit par le moyen de

« la chaleur, l'humidité s'évapore en haut, par extraction que « fait la chaleur. Laquelle vapeur, venant à monter avec la « chaleur jusqu'à la moyenne région, se quittent l'un l'autre, « puis chacun retourne en son lieu, l'humidité retombant « sur la terre, qui est ce que nous appelons pluie (1). » Il donne à l'appui de ce fait une expérience confusément exposée, qui ne saurait réussir telle qu'il l'indique, et qui prouve qu'une certaine quantité d'eau évaporée par la chaleur *retourne en eau* en produisant la même quantité de liquide.

Le théorème II des *Raisons des forces mouvantes* est consacré à discuter le principe du plein universel, thème favori de la physique du moyen âge. Il est ainsi conçu : « *Il n'y a rien à nous cogneu de vide.* »

Dans les théorèmes suivants, l'auteur arrive aux divers moyens pour « *élever l'eau plus haut que son niveau.* » Les quatre moyens que Salomon de Caus indique comme propres à élever l'eau sont : 1° le siphon, dans lequel l'eau monte d'abord au-dessus de son niveau dans la branche ascendante, pour s'écouler plus bas que son niveau dans la branche descendante ; 2° la capillarité des tissus de laine ou de coton ; 3° la compression de l'air, comme dans la fontaine de Héron, « *laquelle*, dit-il, *est une invention fort gentille et subtile ;* »

(1) Il ne faudrait pas conclure de l'emploi du mot *vapeur* par l'auteur des *Raisons des forces mouvantes*, qu'il possédât des notions exactes sur la vaporisation des liquides. Le terme de vapeur existait dans le langage, parce qu'il représentait une forme de la matière depuis longtemps observée, mais la nature du phénomène qui donne naissance aux vapeurs était inconnue à cette époque. La théorie de la vaporisation, entièrement ignorée du temps de Salomon de Caus, fut encore un mystère plus d'un siècle après lui. Pendant tout le XVII[e] siècle, on continua de confondre avec l'air atmosphérique les vapeurs qui se forment pendant l'ébullition des liquides. Salomon de Caus avait des idées si inexactes à cet égard, que, dans le théorème dont nous parlons, il prétend que la vapeur d'eau est plus légère que la vapeur de mercure, d'après ce fait, que la vapeur du mercure se condense sur la vaisselle dorée, tandis que la vapeur d'eau continue de s'élever dans l'air.

4° la vis d'Archimède « *de quoi parle Diodore, Sicilien, et dit qu'Égypte a été asséchée par la vis d'Archimède. Vitruve aussi en fait mention, comme aussi fait Cardan, et dit qu'un de Rubeis, Milanais, pensant être le premier inventeur de cette machine, en devint fou de joie.* »

Voici enfin le dernier moyen d'élever l'eau, sur lequel on a fait reposer la gloire de Salomon de Caus :

« L'eau montera, par aide du feu, plus haut que son niveau.

« Le troisième moyen de faire monter l'eau est par l'aide du feu, dont il se peut faire diverses machines; j'en donnerai ici la démonstration d'une.

« Soit une balle de cuivre marquée A, bien soudée tout à l'entour, à laquelle il y aura un soupirail marqué C, par où l'on mettra l'eau, et aussi un tuyau marqué AB, qui sera soudé en haut de la balle, et dont le bout approchera près du fond sans y toucher; après, faut emplir ladite balle d'eau par le soupirail, puis le bien reboucher et le mettre sur le feu : alors la chaleur donnant contre ladite balle, fera monter toute l'eau par le tuyau AB (1). »

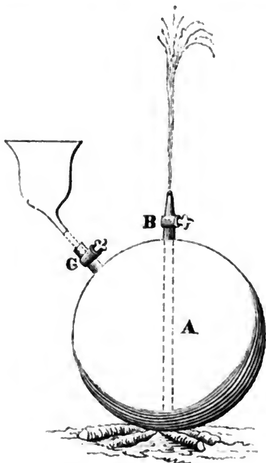


Fig. 3.

Tel est l'appareil qui, selon Arago, « est une véritable machine à vapeur propre à opérer des épuisements (2). » Il nous est impossible de partager cette opinion de l'illustre secrétaire de l'Académie des sciences. L'appareil décrit par Salomon de Caus ne peut servir qu'à l'*épuisement* de l'eau

(1) *Les Raisons des forces mouvantes*, 1615, p. 4.

(2) *Notice historique sur les machines à vapeur* (*Notices scientifiques*, t. II, p. 15).

contenue dans le ballon A. Pour en élever davantage, il faudrait qu'il existât un moyen d'introduire dans ce ballon une nouvelle quantité d'eau après la sortie de la première. Salomon de Caus ne donne aucune indication sous ce rapport ; il dit formellement, au contraire, qu'il faut « remplir ladite « balle par le soupirail C, puis le *bien reboucher.* » Sans doute si l'on ajoutait au robinet C un tube plongeant dans un réservoir d'eau froide, le vide se faisant dans l'intérieur du ballon par l'effet de la sortie du liquide, appellerait, par aspiration, une quantité d'eau à peu près égale à celle qui a disparu, et celle-ci s'élèverait à son tour après s'être échauffée. On obtiendrait de cette manière une sorte d'appareil intermittent qui pourrait servir à opérer l'épuisement d'une certaine masse d'eau, à la condition toutefois d'élever l'eau chaude et de perdre par conséquent une quantité considérable de calorique. Mais Salomon de Caus ne propose rien de semblable, et la raison en est bien simple : il ne songeait nullement à construire une machine. Le petit appareil qu'il décrit est un objet de pure démonstration, une simple expérience de physique ; c'est dans l'article consacré aux théorèmes et non dans le chapitre des machines, que se trouve sa description. Aussi lorsque Arago nous parle plus loin d'un ouvrier qui, dans la machine de Salomon de Caus, est chargé de remplacer l'eau expulsée, en ouvrant un orifice qui s'ouvre et se ferme à volonté (1), il prête à Salomon de Caus une pensée qui n'entra jamais dans son esprit. Si Salomon de Caus avait voulu présenter cet appareil comme une machine de son invention, il n'eût pas manqué de donner à sa description tous les développements nécessaires. Salomon

(1) « Dans la machine de Salomon de Caus, dès que la pression de la « vapeur a produit son effet, un ouvrier remplace l'eau expulsée à l'aide « d'un orifice situé à la partie supérieure de la sphère métallique et qui « s'ouvre ou se ferme à volonté. » *Notice historique sur les machines à vapeur* (*Notices scientifiques*, t. II, p. 34).

de Caus nous fait connaître, en effet, dans la suite de son ouvrage, diverses petites machines qu'il a inventées, entre autres, *une machine fort subtile par laquelle on pourra faire élever une eau dormante au moyen des rayons solaires ;* » il ne manque pas alors de décrire minutieusement le mécanisme de cet appareil, la situation des soupapes, la disposition des tubes, le nombre des bassins et des citernes ; en un mot, tout ce qui intéresse le jeu de sa machine.

Arago, revenant, dans son *Éloge de Watt*, sur l'ouvrage de Salomon de Caus, a dit :

« Je ne saurais accorder que celui-là n'ait rien fait d'utile, qui, réfléchissant sur l'énorme ressort de la vapeur d'eau fortement échauffée, vit le premier qu'elle pourrait servir à élever de grandes masses de ce liquide à toutes les hauteurs imaginables. Je ne puis admettre qu'il ne soit dû aucun souvenir à l'ingénieur qui, le premier aussi, décrivit une machine propre à réaliser de pareils effets... L'appareil de Salomon de Caus, cette enveloppe métallique où l'on crée une force motrice presque indéfinie à l'aide d'un fagot et d'une allumette, figurera toujours noblement dans l'histoire de la machine à vapeur (1). »

Nous avons fait connaitre les idées inexactes professées par Salomon de Caus et par tous les physiciens de son temps, sur le phénomène de la vaporisation des liquides ; il nous semble donc difficile qu'il ait jamais pu réfléchir sur l'énorme ressort de la « vapeur d'eau fortement échauffée. » Entre la phrase si simple de Salomon de Caus : « la chaleur donnant contre ladite balle fait monter toute l'eau par le tuyau AB, » et cet « énorme ressort de la vapeur d'eau, » il y a un intervalle assez difficile à combler. Quant « à élever de grandes masses de liquide à toutes « les hauteurs imaginables, » il nous semble que c'est encore ajouter beaucoup à la pensée de l'auteur, qui ne parle que de faire monter l'eau au-dessus

(1) *Notices biographiques*, t. I, p. 398.

de son niveau, hauteur que l'on peut imaginer sans trop de peine.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer, en passant, que la découverte de ce nouveau moyen d'élever l'eau était loin d'appartenir à Salomon de Caus. Dans une traduction italienne de l'ouvrage latin du physicien napolitain Porta, *Pneumaticorum libri tres*, publiée à Naples en 1601, on trouve la description d'un petit appareil qui a pour but de déterminer en combien de parties d'air peut se transformer une partie d'eau (*per sapere una parte di acqua in quanto di aria si risolve*). Porta détermine en combien de parties d'air se transforme une partie d'eau, en se servant de la pression qu'exerce de la vapeur d'eau sur de l'eau liquide contenue dans un petit réservoir. Or, ce moyen d'élever l'eau en exerçant sur elle une pression par l'effet de la chaleur, Porta est loin de le décrire comme une invention qui lui appartienne. Il était, en effet, connu bien longtemps avant lui, et dans l'ouvrage de Héron on trouve plus de vingt appareils fondés sur ce principe, dont la cause seulement échappait aux physiciens de cette époque. Aussi Porta est-il loin de s'attribuer la première observation de ce fait : il le prend dans le courant des opinions communes, et le présente avec simplicité, comme un moyen d'établir par l'expérience une vérité qu'il recherche. On ne peut donc admettre, avec Arago, que Salomon de Caus ait fait le premier une observation de ce genre.

Nous ne pouvons reconnaître davantage que l'architecte normand ait eu la pensée de présenter son appareil comme créant « une force motrice presque indéfinie. » Salomon de Caus est bien loin d'élever des prétentions aussi hautes. Le petit appareil qu'il décrit, il le met sur la ligne du siphon, de la fontaine de Héron et même des tissus humectés. Que pensez-vous des effets d'une machine destinée à rivaliser avec la capillarité des tissus ? Certes, si Salomon de Caus

avait eu le projet qu'on lui prête, s'il avait voulu présenter son appareil comme susceptible de créer une force applicable aux travaux de l'industrie, le lieu était bien choisi de le déclarer nettement dans un livre sur les forces mouvantes. S'il avait eu quelque pensée de ce genre, il n'eût pas manqué de s'en exprimer clairement et formellement : il eût ainsi épargné aux historiens les épineux commentaires où il les a contraints de s'engager.

Ainsi Salomon de Caus trouva dans la science de son temps la notion vague, imparfaite et confuse, des effets mécaniques de la vapeur d'eau, effets que l'on n'avait pas encore réussi à distinguer de ceux de l'air échauffé. Il signala ce fait dans l'un de ses écrits, sans y ajouter plus d'importance qu'on ne le faisait à son époque, et sans songer un instant à l'appliquer à la construction d'une machine. Ce qui prouve qu'il n'ajoutait rien aux idées scientifiques de son temps, c'est que son ouvrage ne produisit aucune impression sur l'esprit de ses contemporains. Consulté seulement par quelques personnes de sa profession, le livre de l'architecte normand, qui traite, au même titre, des forces mouvantes, du dessein des grottes et fontaines, et de la fabrication des orgues, occupa fort peu les physiciens. Le jésuite Gaspard Schott est le seul, qui, dans un ouvrage imprimé en 1657, sous le titre de *Mechanica hydraulico-pneumatica,* fasse mention du nom et de l'ouvrage de Salomon de Caus. Aucun autre auteur de son siècle n'a parlé de cet appareil, et son parent, Isaac de Caus, qui écrivit quelques années après lui un traité sur les moyens d'élever les eaux, ne cite pas même l'ouvrage de son homonyme. Nous sommes donc contraint de rejeter l'opinion universellement répandue qui fait de Salomon de Caus un savant du premier ordre qui, par la force de son génie, devina, il y a deux siècles, la machine à vapeur moderne.

Nous sera-t-il permis d'ajouter, par forme de conclusion,

qu'il serait bon, dans l'histoire des sciences, de se montrer sobre de ces types romanesques d'hommes de génie qui devancent leur époque, et qui, tout d'un coup, font briller la lumière aux yeux de leurs contemporains, plongés dans la nuit de l'ignorance et des préjugés. Rarement un savant devance son époque. Appliquer les notions acquises de son temps, en déduire toutes les conséquences qu'elles renferment, cette tâche suffit à occuper son génie. Raisonner autrement, c'est introduire la fantaisie dans le domaine de l'histoire ; c'est donner une idée fausse de la marche ordinaire de l'esprit humain et des lois qui président à l'évolution de nos découvertes ; c'est enfin placer les esprits sur une pente dangereuse. En effet, quand un savant, raisonnant de bonne foi, a contribué à répandre dans le public un de ces préjugés, ce faux germe jeté dans la foule ignorante ne tarde pas à porter ses fruits. On ne se fait pas scrupule de renchérir sur la donnée primitive, et sur la trame de cet épisode enjolivé de l'histoire scientifique on se met à broder sans façon un chapitre de roman. En ce qui touche Salomon de Caus, cette conséquence ne s'est pas fait attendre. Au mois de novembre 1834, quelques années après la publication de la Notice d'Arago sur la machine à vapeur, le *Musée des familles* publia une prétendue lettre datée du 3 février 1641, adressée par Marion Delorme à Cinq-Mars. Cette femme trop célèbre raconte, dans cette épître, les détails d'une visite qu'elle a faite à Bicêtre, en compagnie du marquis de Worcester. En traversant la cour des fous, Marion Delorme et le marquis aperçoivent, derrière les barreaux de son cabanon, un homme réduit à l'état de folie furieuse, qui ne cesse de crier à tous les visiteurs qu'il a fait une découverte admirable consistant à faire marcher les voitures et les manéges par la seule force de l'eau bouillante. Le marquis de Worcester s'extasie sur l'infortune et sur le génie de cet homme, et Marion écrit le tout à Cinq-Mars en

style badin. Voici cette lettre, avec les annotations qui l'accompagnent dans le *Musée des familles :*

« Mon cher d'Effiat (1), tandis que vous m'oubliez à Narbonne, et que vous vous y livrez aux plaisirs de la cour, et à la joie de contrecarrer M. le cardinal, moi, suivant le désir que vous m'en avez exprimé, je fais les honneurs de Paris à votre lord anglais, le marquis de Worcester (2), et je le promène, ou plutôt il me promène de curiosités en curiosités, choisissant toujours les plus tristes et les plus sérieuses, parlant peu, écoutant avec une extrême attention, et attachant sur ceux qu'il interroge deux grands yeux bleus qui semblent pénétrer au fond de la pensée. Du reste, il ne se contente jamais des explications qu'on lui donne, et il ne prend guère les choses du côté où on les lui montre. Témoin la visite que nous sommes allés faire ensemble à Bicêtre, et où il prétend avoir découvert dans un fou un homme de génie. Si le fou n'était pas furieux, je crois en vérité que votre marquis eût demandé sa liberté pour l'emmener à Londres, et écouter ses folies du matin au soir. Comme nous traversions la cour des fous, et que plus morte que vive, tant j'avais peur, je me serrais contre mon compagnon, un laid visage se montre derrière de gros barreaux et se met à crier d'une voix toute cassée : « Je ne suis point un fou, j'ai fait une découverte qui doit enrichir le pays qui voudra la mettre à exécution. — Et qu'est-ce que sa découverte ? dis-je à celui qui nous montrait la maison. — Ah ! dit-il en haussant les épaules, quelque chose de bien simple et que vous ne devineriez jamais, c'est l'emploi de la vapeur d'eau bouillante. — Je me mis à rire. — Cet homme, reprit le gardien, s'appelle Salomon de Caus. Il est venu de Normandie, il y a quatre ans, pour présenter au roi un mémoire sur les effets merveilleux que l'on pourrait obtenir de son invention ; à l'entendre, avec de la vapeur, on ferait tourner des manéges, marcher des voitures, que sais-je ! on opérerait mille autres merveilles. Le cardinal renvoya ce fou sans l'écouter. Salomon de Caus, au lieu de se décourager, se mit à suivre partout Monseigneur le cardinal, qui, las de le trouver sans cesse sur ses pas, et importuné de ses folies, ordonna de l'enfermer

(1) Henri Coiffier de Ruzé d'Effiat, marquis de Cinq-Mars, décapité en 1642 à Lyon.

(2) Edward Somerset, marquis de Worcester.

à Bicêtre, où il est depuis trois ans et demi, et où, comme vous avez pu l'entendre vous-même, il crie à chaque étranger qu'il n'est point un fou, et qu'il a fait une dévouverte admirable. Il a même composé à cet égard un livre que j'ai ici (1). » Milord Worcester, qui était devenu tout rêveur, demanda le livre, et après en avoir lu quelques pages, dit : « Cet homme n'est point un fou, et dans mon pays, au lieu de l'enfermer, on l'aurait comblé de richesses. Menez-moi près de lui, je veux l'interroger. » On l'y conduisit, mais il revint triste et pensif. « Maintenant, il est bien fou, dit-il, le malheur et la captivité ont altéré à jamais sa raison ; vous l'avez rendu fou, mais quand vous l'avez jeté dans ce cachot, vous y avez jeté le plus grand génie de votre époque. » Là-dessus, nous sommes partis, et depuis ce temps il ne parle que de Salomon de Caus. Adieu, mon cher amé et féal Henri, revenez bien vite et ne soyez pas tant heureux là-bas qu'il ne vous reste un peu d'amour pour moi.

« MARION DELORME. »

Cette pièce, fabriquée par un mystificateur hardi, eut un succès prodigieux, et l'on ne manqua pas de dire que le marquis de Worcester, à qui ses compatriotes attribuent la découverte de la machine à vapeur, en avait puisé l'idée dans sa conversation avec le fou de Bicêtre. On pouvait cependant élever contre l'authenticité de cet écrit quelques objections qui ne manquent pas de solidité. On pouvait faire remarquer, entre autres choses, que Salomon de Caus, mort en 1630, aurait pu difficilement être enfermé en 1641 dans un hôpital de fous ; que Bicêtre était alors une commanderie de Saint-Louis, où l'on donnait asile à d'anciens militaires, et non un hôpital ; — que Salomon de Caus n'avait jamais pensé à construire une machine utilisant les effets mécaniques de la vapeur ; — enfin qu'il n'avait jamais reçu que de bons offices de la part de Richelieu, puisque dans la

(1) Le livre de Salomon de Caus est intitulé : *les Raisons des forces mouvantes avec diverses machines, tant utiles que plaisantes*. Il a été publié en 1615.

dédicace de son livre, *La practique et démonstration des horloges*, il exprime sa reconnaissance pour les bontés du cardinal. Mais le public n'y regarde pas de si près, et bien des gens ne renoncent pas sans douleur à la bonne fortune historique d'un homme de génie mourant à l'hôpital. Un sujet si bien trouvé revenait de droit aux œuvres de l'imagination et de l'art. On a vu, à l'une des expositions du Louvre, un tableau de l'un de nos peintres, M. Lecurieux, dans lequel Salomon de Caus, enfermé à Bicêtre, est représenté les yeux caves et la barbe hérissée, tendant les mains, à travers les barreaux de sa prison, au couple brillant de Marion Delorme et du marquis. La lithographie et la gravure ont consacré à l'envi ce préjugé historique, le théâtre (1) et le roman l'ont exploité, de telle sorte que l'architecte normand tient aujourd'hui sa place à côté de Galilée et de Christophe Colomb sur la liste des hommes de génie persécutés et méconnus. Jusques à quand cette légende de fabrication moderne usurpera-t-elle le titre de fait historique ?

CHAPITRE III

Le Père Leurechon. — Branca. — L'évêque Wilkins. — Le Père Kircher. — Le marquis de Worcester.

On a vu dans le précédent chapitre que, pendant la période qui nous occupe, les physiciens ne possédaient sur la vaporisation des liquides que quelques notions confuses, viciées par une interprétation théorique des plus inexactes, consistant à rapporter à l'air échauffé la plupart des phénomènes qui proviennent du ressort de la vapeur d'eau. Les faibles

(1) Voir le drame intitulé *Salomon de Caus*, joué à l'Ambigu en 1857.

effets mécaniques que l'observation vulgaire avait révélés concernant la force élastique de la vapeur, n'étaient alors l'objet que d'applications insignifiantes ou ridicules. Si quelques doutes pouvaient subsister sur ce point, les faits qu'il nous reste à présenter seraient de nature à les dissiper.

Le Père Leurechon, jésuite lorrain, a publié en 1626, sous le titre de *Récréations mathématiques*, un ouvrage souvent réimprimé depuis, et qui donne un reflet fidèle de l'état des connaissances physiques et mécaniques au XVIIe siècle. Le petit appareil connu sous le nom d'*éolipyle* fixait beaucoup l'attention des physiciens de cette époque. Le Père Leurechon va nous montrer quelles applications on imaginait alors d'en tirer.

« Les éolipyles, dit le Père Leurechon (Problème 75), sont des vases d'airain ou autre semblable matière qui puisse endurer le feu ; ils ont un petit trou fort étroit par lequel on les emplit d'eau, puis on les met devant le feu, et jusqu'à ce qu'ils s'échauffent on n'en voit aucun effet; mais aussitôt que le chaud les pénètre, l'eau, venant à se raréfier, sort avec un sifflement impétueux et puissant à merveille... Quelques-uns font mettre dans ces soufflets un tuyau courbé à divers plis et replis, afin que le vent, qui roule avec impétuosité par dedans, imite le bruit d'un tonnerre. D'autres se contentent d'un simple tuyau dressé à plomb, un peu évasé par le haut, pour y mettre une petite boule qui sautille par-dessus fait à fait que les vapeurs sont poussées dehors. Finalement, quelques-uns appliquent auprès du trou des moulinets ou choses semblables, qui tournevirent par le mouvement des vapeurs, ou bien, par le moyen de deux ou trois tuyaux recourbés en dehors, font tourner une boule. »

Ces moulinets ou choses semblables qui tournevirent par le mouvement des vapeurs, nous allons les retrouver chez d'autres physiciens du XVIIe siècle : les applications puériles que l'on faisait alors des propriétés de la vapeur d'eau montreront suffisamment quel rôle jouaient, dans la science de cette époque, les notions relatives à la vapeur.



Giovanni Branca, architecte de l'église de Lorette, savant très-peu connu et qui n'a laissé que quelques ouvrages sur l'architecture et la mécanique, a publié à Rome, en 1629, sous le titre de *le Machine,* un recueil des principales machines connues de son temps. Branca n'est point l'inventeur des machines qu'il décrit : c'est seulement à la prière de ses amis qu'il fait, dit-il, cette publication, car il ne connaît point les noms des auteurs des différents appareils dessinés dans son ouvrage. L'une des machines décrites par Giovanni Branca est un éolipyle ainsi composé : Le buste d'une statue métallique creuse est placé sur un brasier ; un trou, qui se ferme à vis, sert à introduire de l'eau dans ce buste : un tube adapté à sa bouche lance la vapeur contre les augets d'une roue horizontale. Celle-ci, au moyen d'une roue dentée, met en action deux pilons : « Ces pilons, dit Branca, « broieront de la *poudre* ou toute autre matière que l'on « voudra (1). »

Il est à croire que cet appareil devait broyer *toute autre matière*, car l'existence d'un foyer à quelques pas de la poudre n'aurait pas été marquée au coin d'une prudence excessive. « Je n'ai pas encore deviné, dit Arago, en parlant « de l'appareil de Branca, d'après quelles analogies on a « pu voir dans cet éolipyle le premier germe de la machine « à vapeur employée de nos jours. » La liaison serait en effet difficile à saisir. Le principe de la machine à vapeur moderne repose sur la force élastique de la vapeur d'eau contenue dans un espace fermé ; ici il s'agit, au contraire, du simple effet d'impulsion que produit un courant de vapeur. Un courant d'air chassé par un soufflet, et dirigé contre les augets de la roue, aurait produit un effet tout semblable. Cette assimilation est tellement fondée, que Branca décrit, dans une autre partie de son livre, une ma-

(1) *Le Machine* del signor G. Branca, p. 24.

chine analogue à la précédente, dans laquelle seulement l'action de la vapeur est remplacée par celle de l'air chaud. Une roue à augets, placée au sommet du tuyau d'une cheminée en activité, tourne par l'effet du courant d'air échauffé qui s'élève du foyer; divers engrenages communiquent le mouvement de cette roue à un laminoir qui transforme des lames de métal en médailles ou en pièces de monnaie (1).

Cette insignifiante application de l'éolipyle, faite par l'architecte romain, est cependant revendiquée par Robert Stuart en faveur de l'un de ses compatriotes. « L'ingénieux « et savant évêque Wilkins est le premier auteur anglais, « dit Robert Stuart, qui parle de la possibilité de faire mou- « voir des machines par la force élastique de la vapeur (2). » Jean Wilkins, beau-frère de Cromwell et évêque de Chester, qui, malgré ses travaux de théologie, s'était rendu habile dans les sciences physiques et mathématiques, a publié sous le titre de *Mathematical magick*, un ouvrage où il est dit quelques mots de l'éolipyle. « On peut, dit l'évêque « de Chester, employer les éolipyles de diverses manières, « soit comme amusement, soit pour enfler et pousser des « voiles attachées à une roue placée dans le coin d'une che- « minée, au moyen de laquelle on peut faire tourner un « tournebroche. »

Robert Stuart nous a déjà parlé d'un éolipyle appliqué, au XVI[e] siècle, à faire marcher un tournebroche. Il paraît qu'à cette époque l'emploi mécanique de la vapeur d'eau ne pouvait s'élever encore au-dessus de cet engin de cuisine.

(1) Au XVI[e] siècle, Cardan avait décrit une machine à peu près semblable sous le nom de *machine à fumée*. Elle était formée de feuilles de tôle taillées à peu près comme des ailes de moulin et disposées de la même manière autour d'un axe mobile; on la plaçait horizontalement dans le tuyau d'une cheminée. On attribuait à la fumée le principe d'action de cette machine, mais Cardan remarque avec raison que la flamme semble plutôt contribuer à ces effets.

(2) *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 35.

Ainsi, jusqu'à la période à laquelle nous sommes parvenus, on connaît vaguement quelques-uns des effets mécaniques que peut exercer la vapeur d'eau. Mais là s'arrêtent toutes les notions. Les applications de ce fait sont à peu près nulles, car on ne s'en sert que pour la démonstration de principes erronés ou pour faire manœuvrer des jouets d'enfant. Quant à la théorie du phénomène, on continue de professer à cet égard l'erreur de l'ancienne physique, c'est-à-dire la transformation de l'eau en air par le fait de la chaleur. Nous avons vu Porta, Salomon de Caus et le Père Leurechon admettre cette théorie; le Père Kircher va la formuler pour nous d'une manière plus explicite encore.

Le Père Kircher, dont l'esprit fécond et l'imagination active s'exerçaient sur toutes les branches de la science de son temps, a publié à Rome, en 1641, un ouvrage intitulé : *Magnes, sive de magneticâ arte*, dans lequel il décrit plusieurs de ces appareils curieux qu'il aime tant à faire connaître. L'un de ces appareils est un vase métallique allongé contenant de l'eau à sa partie inférieure. Cette eau étant portée à l'ébullition, la vapeur s'introduit, à l'aide d'un tube, dans un vase supérieur, et par la pression qu'elle exerce sur de l'eau contenue dans ce vase, elle fait jaillir celle-ci par un ajutage. Rien de plus simple, on le voit, que le mécanisme de cet appareil. Or, voici comment le Père Kircher nous rend compte de ses effets :

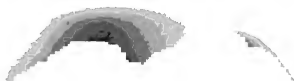
« L'appareil étant ainsi préparé, si vous voulez qu'il chasse le liquide à une grande hauteur *par la force du feu*, placez le vase sur le feu après l'avoir rempli d'eau. L'*air de ce vase*, comprimé par la raréfaction et ne trouvant d'issue que par le tube, y passera avec violence et tentera de s'échapper dans le vase supérieur. Mais comme une autre liqueur occupe ce vase supérieur, maintenu dans un espace qu'il ne peut franchir, il entreprend une lutte terrible avec l'eau : il faut donc, ou que le vase soit rompu, ou que l'eau cède. Et comme cela est plus facile, l'eau, cédant enfin à l'*effort violent de l'air raréfié*, s'élancera dans l'air

avec une grande impétuosité par le tube, et fournira un coup d'œil agréable aux spectateurs. »

Ainsi le jeu de ce petit appareil, qui ne fonctionne que par la pression de la vapeur d'eau, était rapporté par Kircher à la seule action de l'air dilaté par la chaleur. On peut juger par là de la nature des idées théoriques qui régnaient chez les physiciens du XVIIe siècle, touchant le phénomène de la vaporisation des liquides.

Nous ne nous sommes guère attaché depuis le commencement de cette notice qu'à combattre les opinions communément admises sur l'origine de la machine à vapeur. Cependant nous n'en avons pas fini sur ce point, car nous n'avons rien dit encore de l'opinion qui rapporte cette découverte au marquis de Worcester.

Ce n'est pas un fait médiocrement curieux que l'obstination avec laquelle l'Angleterre persiste depuis plus d'un siècle à attribuer au marquis de Worcester la première idée des applications mécaniques de la vapeur. Interrogez au hasard un citoyen de la Grande-Bretagne, dans l'atelier, dans la chaumière, dans le club, partout on vous dira que la machine à feu a été inventée par le marquis de Worcester, qui vivait au temps de Cromwell. Aucun auteur anglais ne saurait écrire dix lignes sur ce sujet, sans adresser, en passant, son hommage au noble inventeur. Les nombreux écrivains qui, dans des ouvrages spéciaux ou les encyclopédies, se sont occupés de cette question, tels que le docteur Robison, le docteur Rees, MM. Millington, Nicholson, Lardner, Alderson, Tredgold et Thomas Young, sont unanimes sur ce point; presque tous prennent comme point de départ de l'histoire de la machine à vapeur les travaux de Worcester. M. Pardington, de l'Institution de Londres, dans une édition qu'il a donnée, en 1825, de l'ouvrage du marquis, décide « que Worcester est le premier qui ait découvert un moyen



« d'appliquer la vapeur comme agent mécanique; invention « qui suffirait seule, pour immortaliser le siècle dans lequel « il vivait. » C'est en vain qu'Arago, dans sa *Notice historique sur les machines à vapeur*, publiée pour la première fois en 1828, a fait justice des prétendus droits de Worcester; les ouvrages anglais écrits postérieurement au travail de l'illustre académicien reproduisent imperturbablement la même assertion, et les auteurs d'un ouvrage important récemment publié par une société de mécaniciens anglais (*Artisan Club*) répètent avec assurance : « C'est sans aucun doute à la con-« ception du marquis de Worcester qu'il faut rapporter l'ori-« gine des machines à vapeur susceptibles d'application. »

Pour justifier tant de ténacité dans la défense d'une opinion historique, il faut que les témoignages qui l'appuient soient d'une force peu commune. Voyons sur quels documents on la fonde.

Le marquis de Worcester publia à Londres, en 1663, un ouvrage intitulé : *Century of Inventions*, etc. (*Catalogue descriptif des noms de toutes les inventions que je puis me rappeler avoir faites ou perfectionnées, ayant perdu mes premières notes*). Ce livre, d'un style des plus obscurs, contient de très-courtes descriptions, et quelquefois la simple annonce, de cent machines, inventions ou découvertes que l'auteur s'attribue. Il s'exprime ainsi dans sa soixante-huitième invention :

« J'ai inventé un moyen aussi admirable que puissant pour élever l'eau par le moyen du feu, non pas avec les secours de la pompe, parce que celle-ci n'agit, selon l'expression des philosophes, que *intra spheram activitatis,* qui a très-peu d'étendue; au contraire, cette nouvelle puissance n'a pas de bornes, si le vase est assez fort. J'ai pris, par exemple, une pièce de canon dont le bout était brisé. J'en ai rempli les trois quarts d'eau, j'ai bouché ensuite, et fermé à l'aide de vis le bout cassé ainsi que la lumière, et fait continuellement du feu sous le canon : au bout de vingt-quatre heures il éclata avec un grand bruit. *De*

sorte qu'ayant trouvé une manière de construire solidement mes vases et de les remplir l'un après l'autre, j'ai vu l'eau jaillir comme un jet continuel à quarante pieds de hauteur. Un vase d'eau raréfiée par le feu en fait monter quarante d'eau froide. L'homme qui surveille le jeu de la machine n'a qu'à tourner deux robinets, afin qu'un vase d'eau étant épuisé, l'autre commence à forcer et à se remplir d'eau froide, et ainsi de suite, le feu étant constamment alimenté et soutenu, ce qu'une même personne peut faire aisément dans l'intervalle de temps où elle n'est pas occupée à tourner les robinets. »

Le lecteur attend sans doute la suite de cet imbroglio; mais cet imbroglio n'a pas de suite, et les lignes précédentes renferment tout ce que le marquis de Worcester a jamais écrit sur les applications de la vapeur. Maintenant, que l'on veuille bien peser avec soin tous les termes de cette description, et que l'on décide si l'on peut y trouver, nous ne disons pas l'idée d'une machine à vapeur, mais seulement un sens raisonnable. Tout ce qu'il est permis de comprendre à ce logogriphe, c'est que l'auteur a reconnû par expérience qu'une pièce de canon remplie d'eau, et hermétiquement bouchée, peut éclater par l'action prolongée de la chaleur. Ce fait, sans portée scientifique, était depuis longtemps connu (1). Quant à la description de la machine, elle est de tout point inintelligible. Les savants et les mécaniciens anglais ont mis leur esprit à la torture pour représenter par le

(1) M. Delécluze a fait connaître, en 1841, dans le Journal *l'Artiste*, un croquis assez informe retrouvé dans les manuscrits de Léonard de Vinci, représentant un instrument que l'illustre peintre de la renaissance désigne sous le nom d'*architonnerre*. Cet appareil était fondé sur les propriétés explosives de la vapeur d'eau comprimée. On reconnait, en effet, en examinant avec soin ses dispositions, que la vapeur n'y pouvait agir qu'en le faisant éclater en mille pièces. M. Delécluze a vu dans cet instrument un véritable *canon à vapeur* et l'a décrit comme tel. L'écrivain des *Débats* nous permettra de ne pas accepter son interprétation; l'architonnerre ne pouvait servir à chasser un boulet, mais simplement à tuer, par suite de son explosion inévitable, l'imprudent qui aurait essayé de l'employer.

dessin un appareil réunissant les conditions indiquées dans l'ouvrage de Worcester ; mais ils n'ont pu le faire qu'en y introduisant des éléments d'origine moderne, et toutes les machines que l'on a ainsi péniblement reconstruites pour donner quelque vraisemblance aux assertions du marquis, ont cela de fort curieux, que pas une d'elles ne ressemble à l'autre. Comment en effet tirer quelque chose de raisonnable d'une description faite en quatre lignes, et où tout se réduit à dire : « Un des vases étant épuisé, l'autre commence à « *forcer et à se remplir d'eau froide.* » De tels documents ne se discutent pas, il suffit de les citer.

Malgré le parti pris des écrivains anglais en ce qui touche les droits de leur compatriote, il s'est rencontré parmi eux un savant assez ami de la vérité et du bon sens pour rendre à l'évidence un hommage d'autant plus louable qu'il n'a rencontré jusqu'ici que peu d'imitateurs. Robert Stuart, dans son *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, s'exprime ainsi au sujet du marquis de Worcester :

« Le plus célèbre de tous ceux qui ont associé leurs noms à l'histoire de la machine à vapeur dans son enfance, est un marquis de Worcester, qui vivait sous le règne de Charles II. Cette célébrité paraîtra fort extraordinaire, si l'on se rappelle d'un côté le dédain avec lequel on accueillit de son vivant ses prétentions extravagantes à l'honneur de plusieurs découvertes, la brièveté étudiée, le vague et l'obscurité qu'il a mis dans les descriptions des machines sur lesquelles il fondait ses titres de gloire et ses demandes d'encouragement ; et de l'autre, en voyant cet hommage éclatant que notre siècle a décerné à son génie mécanique, hommage qui paraît être autant au-dessus de son mérite réel que l'injuste indifférence de ses contemporains était au-dessous de son talent.

« Ses droits, comme inventeur, ne reposent au reste que sur le compte qu'il rend lui-même de l'*utilité* et des *merveilleuses propriétés* de ses inventions ; c'est donc sur la réputation de loyauté et de sincérité du marquis que nous devons mesurer la confiance que méritent ses propres assertions. Mais cette réputation, si

l'esquisse qu'un contemporain a tracée du marquis ressemble à l'original, ne nous permet pas de croire un seul mot des explications mensongères consignées dans l'ouvrage intitulé : *Century of Inventions*. « Le marquis de Worcester, dit Walpole, « s'est montré sous deux caractères bien différents, savoir : « comme homme public et comme auteur. Comme homme « public, c'était un homme de parti ardent ; et comme auteur, « c'était un mécanicien original et fertile en projets chiméri- « ques ; mais il était de bonne foi dans ses erreurs. Ayant été en- « voyé par le roi en Irlande, pour négocier avec les catholiques « révoltés, il dépassa ses instructions et leur en substitua de son « fait, que le roi désavoua, mais toutefois en le mettant à l'abri « des conséquences fâcheuses que pouvait avoir son infidélité. « Le roi, avec toute son affection pour le comte (il était alors « comte de Glamorgan), rappelle dans deux de ses lettres son « défaut de jugement. Peut-être Sa Majesté aimait-elle à se con- « fier à son indiscrétion, car le comte en avait une forte dose. « Nous le voyons prêter serment sur serment au nonce du pape, « avec promesse d'une obéissance illimitée à Sa Sainteté et à « son légat ; nous le voyons ensuite demander cinq cents livres « sterling au clergé d'Irlande, pour qu'il puisse s'embarquer et « aller chercher une somme de cinquante mille livres sterling, « comme ferait un alchimiste qui demande une petite somme « pour procurer le secret de faire de l'or. Dans une autre lettre, « il promet deux cent mille couronnes, dix mille armements « de fantassins, deux mille caisses de pistolets, huit cents ba- « rils de poudre, et trente ou quarante bâtiments bien équipés ; « et tout cela, au dire d'un contemporain, lorsqu'il n'avait pas « un sou dans sa bourse, ni assez de poudre pour tirer un coup « de fusil (1). »

(1) Robert Stuart va jusqu'à mettre en doute la réalité des inventions du marquis. « S'il est vrai, dit cet historien, que le marquis ait jamais « fait des expériences sur l'élasticité de la vapeur (car il est permis de « mettre en doute l'expérience du canon), ou ait tenté de mettre à exé- « cution son projet, en construisant une machine, il est vrai de dire « qu'il ne reste aucune trace ni de ses expériences, ni de son appareil : « aussi il est plus raisonnable de révoquer en doute les travaux dont il « se glorifie. La clause de l'acte du parlement par laquelle on lui accorde « le privilége de son monopole fortifie singulièrement notre soupçon, et « lui donne presque un caractère de certitude : car il y est expressé- « ment dit (et cette clause prouve que le procédé était tout nouveau) que

Tel est le personnage auquel on veut faire jouer le rôle d'inventeur de la machine à feu. Il est difficile qu'au milieu des événements de sa carrière agitée il ait trouvé des loisirs à consacrer à l'étude des sciences. Ses écrits concernant la mécanique se bornent à son petit livre *Century of Inventions.* Nous n'avons rien à dire en effet d'un autre ouvrage qu'il publia sous le titre de : *An exact and true Definition*, etc. (*Définition vraie et exacte de la plus étonnante machine hydraulique inventée par le très-honorable Édouard Somerset, lord-marquis de Worcester, digne d'être loué et admiré, présenté par Sa Seigneurie à Sa Majesté Charles II, notre très-gracieux souverain*). Cette *Définition vraie et exacte* n'est consacrée qu'à l'énumération des usages extraordinaires de son *admirable méthode d'élever l'eau par le moyen du feu.* L'ouvrage ne contient pas une ligne relative à la description de l'appareil; tout se réduit à une exposition emphatique des services qu'il peut rendre. On y trouve ensuite un acte du parlement qui accorde au marquis le privilége de sa machine, quatre mauvais vers de sa façon en l'honneur de sa découverte, puis le *exegi monumentum* d'Horace, le tout glorieusement terminé par quelques vers latins et anglais à la louange du noble inventeur, dus à la plume de James Rollock, vieil admirateur de Sa Seigneurie.

Il est assez curieux de savoir comment est venue aux savants anglais l'idée d'attribuer l'invention de la machine à feu au nébuleux auteur du *Century of Inventions.* Au commencement du XVIII[e] siècle, lorsque furent construites les premières machines à vapeur qui aient fonctionné en Europe, des discussions assez vives s'élevèrent entre plusieurs mécaniciens qui réclamaient la priorité de l'invention. Le

« le brevet a été délivré au marquis sur sa *simple affirmation* qu'il était « l'auteur de la découverte. Il n'est pas vraisemblable qu'on eût motivé « ainsi son brevet, s'il eût eu une machine à montrer ou une expérience « à rapporter. »

capitaine Savery, qui, comme nous le verrons, a construit la première machine à vapeur qu'ait employée l'industrie, voulait s'attribuer l'honneur tout entier de cette découverte. Denis Papin, informé de ses prétentions, écrivit aussitôt pour établir ses droits de priorité : l'illustre physicien vivait à cette époque en Allemagne; son refus d'abjurer la religion réformée lui interdisait l'entrée de la France. Il y avait alors à Orléans un savant abbé, nommé Jean de Hautefeuille, grand amateur de mécanique, et qui nous est connu par quelques travaux sur lesquels nous reviendrons. Le pieux abbé ne put supporter la pensée de voir décerner à un hérétique l'honneur d'une si importante découverte, et dans un de ses opuscules (1), il contesta les droits de Papin. Ce fut alors que les Anglais, entrant dans la querelle, produisirent l'ouvrage, jusque-là inaperçu ou méprisé, du marquis de Worcester. Cette intervention, qui semblait mettre les parties d'accord, termina le débat, et la victoire resta acquise au génie britannique. Mais, on le voit, le zèle de l'abbé de Hautefeuille avait été bien mal inspiré, car le marquis de Worcester, en sa qualité d'Anglais, était tout aussi hérétique que Papin; ainsi l'abbé de Hautefeuille n'avait rien fait gagner à sa religion, et du même coup il avait dépossédé sa patrie de la gloire légitime qui lui revenait.

(1) *Lettre de M. de Hautefeuille à M. Bourdelot, premier médecin de madame la duchesse de Boullion, sur le moyen de perfectionner l'ouïe*, 1702, p. 14.

CHAPITRE IV

Naissance de la physique moderne. — Découvertes de Torricelli et de Pascal. — Expérience de Périer sur le Puy-de-Dôme. — Invention de la machine pneumatique. — Application de ces découvertes à la création d'un moteur universel.

Cependant le moment approchait où les vagues et confuses notions de la physique du moyen âge allaient faire place à une science positive. L'institution de la physique moderne date, avons-nous vu, de la mort de Galilée. On aurait dit que les sciences n'attendaient que la mort de l'illustre philosophe pour prendre l'essor qu'elles devaient à son génie. La découverte du baromètre par Torricelli et Pascal marqua le premier pas de la physique naissante. Comme cette grande découverte se lie de la manière la plus étroite à celle de la machine à vapeur, ou plutôt comme la machine à feu proposée par Denis Papin, en 1690, n'est que la conséquence et l'application des faits mis en lumière par suite de l'invention du baromètre, nous devons rappeler la série des circonstances qui amenèrent les physiciens du XVIIe siècle à découvrir les effets de la pression atmosphérique.

En 1630, le doux et modeste Torricelli, qui, comme Pascal, devait mourir à trente-neuf ans, étudiait les mathématiques à Rome, et manifestait les dispositions brillantes qui devaient le placer bientôt au rang des premiers géomètres de son époque. Il se lia intimement avec Castelli, le disciple chéri de Galilée. Castelli retira le plus grand profit, pour ses travaux, des conseils du jeune mathématicien romain, et en retour il communiqua à son ami les découvertes et les vues scientifiques de Galilée. C'est ainsi que Torricelli

fut amené à connaître le fait qui devait donner naissance entre ses mains à la découverte du baromètre.

Les fonteniers du grand-duc de Florence avaient construit, pour amener l'eau dans le palais ducal, des pompes aspirantes dont le tuyau dépassait quarante pieds de hauteur : quand on voulut les mettre en jeu, l'eau refusa de s'élever jusqu'à l'extrémité du tuyau. Galilée, consulté sur ce fait, mesura la hauteur à laquelle s'arrêtait la colonne d'eau, et la trouva d'environ trente-deux pieds. Il apprit alors des ouvriers employés à ce travail que ce phénomène était constant, et que l'eau ne pouvait jamais s'élever, dans les pompes aspirantes, à une hauteur supérieure à trente-deux pieds. L'ascension de l'eau dans les pompes s'expliquait alors par le principe de l'*horreur du vide*, axiome célèbre de la scolastique : la nature, disait-on, n'admettait que le plein, et comme elle ne pouvait souffrir le vide qui se serait trouvé entre le piston soulevé et le niveau de l'eau, celle-ci était forcée de suivre le piston dans son ascension. Sans rejeter entièrement l'opinion des physiciens de son temps, Galilée crut pouvoir expliquer le fait en disant que la longueur d'une colonne d'eau de trente-deux pieds produisait un poids trop considérable pour que la base de la colonne liquide pût le supporter. Il comparait ce phénomène à celui que présente une corde horizontale tendue à ses deux extrémités, et qui, à une certaine longueur, finit par se rompre, parce qu'elle ne peut plus supporter son propre poids (1).

Torricelli, méditant sur ce fait, soupçonna que la pression de l'atmosphère agissant sur la surface du liquide pouvait être la cause de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. Pour vérifier cette conjecture par l'expérience, il essaya de reproduire le même phénomène en employant un liquide plus pesant que l'eau. Comme la densité du mercure est

(1) *Dialogi di Galileo* (*Opera di Galileo Galilei*, t. II, p. 489).

environ quatorze fois supérieure à celle de l'eau, la théorie indiquait que la pression de l'air pourrait seulement tenir en équilibre une colonne de mercure à une hauteur quatorze fois moindre, c'est-à-dire à vingt-huit pouces. Torricelli remplit donc de mercure un tube de verre de trois pieds de long, fermé à l'une de ses extrémités, il boucha avec le doigt son extrémité inférieure, et plongea le tube ainsi préparé dans une cuvette pleine de mercure ; retirant alors le doigt, il vit le mercure descendre en partie dans l'intérieur du tube, et, après quelques oscillations, rester suspendu en équilibre à la hauteur de vingt-huit pouces au-dessus du niveau du mercure de la cuvette, c'est-à-dire précisément à la hauteur indiquée par la théorie. Telle fut la célèbre expérience qui fut désignée depuis ce moment sous le nom d'*expérience du vide*.

Aux yeux de Torricelli, elle établissait clairement le phénomène de la pesanteur de l'air. Cependant cette démonstration était trop indirecte pour convaincre des esprits trop peu familiarisés encore avec l'observation. Les physiciens s'occupèrent avec beaucoup de curiosité et d'intérêt de cet espace vide existant entre le sommet du tube et l'extrémité de la colonne de mercure ; on désigna cet espace sous le nom de *vide de Torricelli*. Mais l'explication du fait de l'équilibre du mercure par la pesanteur de l'air rencontra des résistances opiniâtres ; les esprits les plus éclairés de l'époque éprouvaient la plus vive répugnance à abandonner l'ancienne opinion des écoles touchant le plein universel.

En 1646, le Père Mersenne, religieux de l'ordre des Minimes, le condisciple et l'ami de Descartes, parcourait l'Europe pour rassembler, sur les sciences de son époque, des renseignements précis qu'il se hâtait de communiquer au reste des savants. Il eut connaissance, à Rome, de l'expérience de Torricelli, et il en apporta la nouvelle en France. M. Petit, intendant des fortifications de Rouen, avait appris du Père Mersenne lui-même les détails de l'expérience de

Torricelli ; il se hâta d'en informer Blaise Pascal, qui se trouvait alors auprès de son père, intendant des finances de la ville de Rouen. Petit et Blaise Pascal répétèrent ensemble l'expérience du physicien romain, et c'est ainsi que Pascal fut amené à entreprendre les recherches dont il publia les résultats sous le titre de *Nouvelles Expériences touchant le vuide*. La plus célèbre et la plus curieuse de ces expériences est celle où Pascal, remplissant de vin rouge un tube de verre de quarante-six pieds de longueur, fermé à l'un de ses bouts, le renverse dans un baquet plein d'eau, et voit le liquide coloré se maintenir en équilibre à une hauteur de trente-deux pieds, variant ainsi l'expérience de Torricelli, et rendant en même temps plus manifeste le fait observé par les fonteniers de Florence. Mais si l'on veut connaître exactement l'état de la physique au milieu du XVII[e] siècle, et apprécier sous son vrai jour cette période de l'histoire des sciences, sur laquelle on n'a guère écrit jusqu'à ce moment que pour la dénaturer, il faut savoir comment Pascal lui-même interprétait ce phénomène. Pascal, alors dans toute la force et dans tout l'éclat de son génie, n'hésite pas à expliquer par le vieil axiome de l'horreur du vide tous les faits que l'expérience lui révèle. Il admet et il croit démontrer que la nature a horreur du vide ; il ajoute seulement que cette horreur est limitée, et qu'elle se mesure par le poids d'une colonne d'eau d'environ trente-deux pieds de hauteur (1).

L'agression de Pascal contre les principes de l'école était, comme on le voit, bien timide ; cependant elle souleva des tempêtes dans le monde philosophique. Un jésuite, le Père Étienne Noël, crut devoir prendre en main la défense des

(1) « La force de cette inclination est limitée et toujours égale à celle « avec laquelle l'eau d'une certaine hauteur, qui est environ de trente et « un pieds, tend à couler en bas. » (*Œuvres de Blaise Pascal*, 1779, t. IV, p. 67.)

saines doctrines. Il écrivit à ce sujet une longue lettre que l'on trouve dans le recueil des œuvres de Pascal, et dont nous recommandons la lecture aux personnes qui désirent se faire une juste idée de la nature des obstacles que la physique eut à combattre à ses débuts.

Pascal repoussa, par une *Réponse* accablante, les arguments de son antagoniste. Mais le jésuite ne se tint pas pour battu, et il répliqua par un traité en forme, sous ce singulier titre : *Le plein du vuide.* Dans la dédicace de ce lourd factum, adressée au prince de Conti, le Père Noël représente la nature comme injustement accusée d'un tort qui ne lui appartient pas; il se constitue son défenseur et porte la parole en son nom :

« La nature, dit-il, est aujourd'hui accusée de vuide et j'entreprends de l'en justifier en présence de *Votre Altesse* : elle en avoit bien été auparavant soupçonnée; mais personne n'avoit encore eu la hardiesse de mettre ses soupçons en fait, et de lui confronter les sens et l'expérience. Je fais voir ici son intégrité, et montre la fausseté des faits dont elle est chargée, et les impostures des témoins qu'on lui oppose. Si elle étoit connue de chacun comme elle l'est de Votre Altesse, à qui elle a découvert tous ses secrets, elle n'auroit été accusée de personne, et on se seroit bien gardé de lui faire un procès sur de fausses dépositions, et sur des expériences mal reconnues et encore plus mal avérées. Elle espère, Monseigneur, que vous lui ferez justice de toutes ces calomnies. Et si, pour une plus entière justification, il est nécessaire qu'elle paie d'expérience et qu'elle rende témoin pour témoin, alléguant l'esprit de *Votre Altesse*, qui remplit toutes ses parties et qui pénètre les choses du monde les plus obscures et les plus cachées, il ne se trouvera personne, Monseigneur, qui ose affirmer qu'au moins, à l'égard de *Votre Altesse*, il y ait du vuide dans la nature. »

Après cette figure délicate, mais un peu prolongée, le Père Noël entre dans son sujet, où nous n'aurons garde de le suivre. Contentons-nous de dire qu'il attribue la suspension du mercure dans le tube de Torricelli à une qualité

qu'il prête de son chef au mercure, et qu'il nomme la *légèreté mouvante* (1).

Par suite de ses discussions avec le Père Noël, Pascal avait été conduit à réfléchir plus profondément sur la cause de l'ascension et de l'équilibre du mercure dans les tubes fermés. Sur ces entrefaites, il fut informé de l'opinion de Torricelli, qui n'hésitait pas à attribuer ce phénomène à la pression de l'air. Une expérience qu'il désigne sous le nom du *vuide dans le vuide*, et dans laquelle il vit le mercure, suspendu dans l'intérieur d'un tube, s'élever ou s'abaisser selon qu'il faisait varier la pression de l'air extérieur, donna à ses yeux une force nouvelle aux vues du physicien romain. Enfin un trait de son génie lui révéla le moyen de résoudre ce grand problème. Pascal pensa que, pour trancher sans retour la difficulté qui divisait les savants, il suffirait d'observer la hauteur du mercure dans le tube de Torricelli, au pied et sur le sommet d'une montagne. Si la hauteur de la colonne de mercure était moindre au sommet qu'au bas de la montagne, la pression de l'air serait positivement démontrée, car l'air diminue de masse dans les hautes régions, tandis que l'on ne peut admettre que la nature ait de l'horreur pour le vide au pied d'une montagne et qu'elle le souffre à son sommet. Le Puy-de-Dôme, élevé de 500 toises, et placé aux portes d'une grande ville, lui parut merveilleusement propre à cet important essai ; mais retenu à Paris par d'autres soins, il ne pouvait songer à l'exécuter lui-même. Heureusement son beau-frère Périer, conseiller à la cour des aides d'Auvergne, se trouvait alors à Moulins ; il avait assisté aux expériences faites à Rouen, et il possédait assez de connaissances scientifiques pour que l'on pût se reposer sur lui du soin de procéder à cette vérification avec toute la précision nécessaire. Le 15 novembre 1647, Pascal écrivait donc

(1) Voyez, à ce sujet, la réponse de Pascal dans sa *Lettre à M. le Pailleur* (*Œuvres de Pascal*, t. IV, p. 156).

à Périer pour réclamer de lui ce service. Nous rapporterons ici dans son entier la *Lettre de Pascal à son beau-frère Périer*, chef-d'œuvre de raisonnement que l'on ne peut lire sans une admiration profonde pour la sagesse et la portée de ce grand esprit.

« Monsieur,

« Je n'interromprais pas le travail continuel où vos emplois vous engagent, pour vous entretenir de méditations physiques, si je ne savais qu'elles servent à vous délasser en vos heures de relâche, et qu'au lieu que d'autres en seraient embarrassés, vous en aurez du divertissement. J'en fais d'autant moins de difficulté, que je sais le plaisir que vous recevez en cette sorte d'entretien. Celui-ci ne sera qu'une continuation de ceux que nous avons eus ensemble touchant le vuide. Vous savez quels sentiments les philosophes ont eus sur ce sujet. Tous ont tenu pour maxime que la nature abhorre le vuide, et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre et qu'elle se détruirait elle-même plutôt que de le souffrir. Ainsi les opinions ont été divisées : les uns se sont contentés de dire qu'elle l'abhorrait seulement, les autres ont maintenu qu'elle ne pouvait souffrir. J'ai travaillé, dans mon *Abrégé du Traité du vuide*, à détruire cette dernière opinion; et je crois que les expériences que j'y ai rapportées suffisent pour faire voir manifestement que la nature peut souffrir et souffre en effet un espace si grand que l'on voudra, vuide de toutes les matières qui sont à notre connaissance et qui tombent sous nos sens. Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première, savoir que la nature abhorre le vuide, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vuide doivent être véritablement attribués à cette horreur du vuide, ou s'ils doivent l'être à la pesanteur et pression de l'air ; car, pour vous ouvrir franchement ma pensée, j'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animée ni sensible, soit susceptible d'horreur, puisque les passions supposent une âme capable de les ressentir; et j'incline bien plus à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une proposition universelle de l'équilibre des liqueurs, qui doit faire la plus grande partie du *Traité* que j'ai promis. Ce n'est pas que je n'eusse ces mêmes

pensées lors de la production de mon *Abrégé*, et toutefois, faute d'expériences convaincantes, je n'osai pas alors (et je n'ose pas encore) me départir de la maxime de l'horreur du vuide, et je l'ai même employée pour maxime dans mon *Abrégé;* n'ayant alors d'autre dessein que de combattre l'opinion de ceux qui soutiennent que le vuide est absolument impossible, et que la nature souffrirait plutôt sa destruction que le moindre espace vuide. En effet, je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous n'y sommes obligés par des preuves convaincantes et invincibles. Mais, dans ce cas, je tiens que ce serait une extrême faiblesse d'en faire le moindre scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes que d'obstination pour ces opinions reçues. Je ne saurais mieux vous témoigner la circonspection que j'apporte avant que de m'éloigner des anciennes maximes, que de vous remettre dans la mémoire l'expérience que je fis ces jours passés, en votre présence, avec deux tuyaux l'un dans l'autre, qui montre apparemment le vuide dans le vuide. Vous vîtes que le vif-argent du tuyau intérieur demeura suspendu à la hauteur où il se tient par l'expérience ordinaire, quand il était contre-balancé et pressé par la pesanteur de la masse entière de l'air ; et qu'au contraire il tomba entièrement sans qu'il lui restât aucune hauteur ni suspension, lorsque, par le moyen du vuide dont il fut environné, il ne fut plus du tout pressé ni contre-balancé d'aucun air, en ayant été destitué de tous côtés. Vous vîtes ensuite que cette hauteur de suspension du vif-argent augmentait ou diminuait à mesure que la pression de l'air augmentait ou diminuait, et qu'enfin toutes ces diverses hauteurs de suspension du vif-argent se trouvaient toujours proportionnées à la pression de l'air.

« Certainement, après cette expérience, il y avait lieu de se persuader que ce n'est pas l'horreur du vuide, comme nous estimons, qui cause la suspension du vif-argent dans l'expérience ordinaire, mais bien la pesanteur et pression de l'air qui contre-balance la pesanteur du vif-argent. Mais parce que tous les effets de cette dernière expérience des deux tuyaux, qui s'expliquent si naturellement par la seule pression et pesanteur de l'air, peuvent encore être expliqués assez probablement par l'horreur du vuide, je me tiens dans cette ancienne maxime, résolu néanmoins de chercher l'éclaircissement entier de cette difficulté par une expérience décisive.

« J'en ai imaginé une qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vuide plusieurs fois le même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt au bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive sur la question, et que s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vuide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne que non pas sur le sommet ; au lieu que l'on ne saurait dire que la nature abhorre le vuide au pied de la montagne plus que sur le sommet.

« Mais comme la difficulté se trouve d'ordinaire jointe aux grandes choses, j'en vois beaucoup dans l'exécution de ce dessein, puisqu'il faut pour cela choisir une montagne excessivement haute, proche d'une ville, dans laquelle se trouve une personne capable d'apporter à cette épreuve toute l'exactitude nécessaire. Car si la montagne était éloignée, il serait difficile d'y porter des vaisseaux, le vif-argent, les tuyaux et beaucoup d'autres choses nécessaires, et d'entreprendre ce voyage pénible autant de fois qu'il le faudrait pour rencontrer, au haut de ces montagnes, le temps serein et commode qui ne s'y voit que peu souvent : et comme c'est aussi rare de trouver des personnes hors de Paris qui aient ces qualités, que des lieux qui aient ces conditions, j'ai beaucoup estimé mon bonheur d'avoir, en cette occasion, rencontré l'un et l'autre, puisque notre ville de Clermont est au pied de la haute montagne du Puy-de-Dôme, et que j'espère de votre bonté que vous m'accorderez la grâce de vouloir y faire vous-même cette expérience ; et, sur cette assurance, je l'ai fait espérer à tous nos curieux de Paris, et entre autres au R. P. Mersenne, qui s'est déjà engagé, par des lettres qu'il en a écrites en Italie, en Pologne, en Suède, en Hollande, etc., d'en faire part aux amis qu'il s'y est acquis par son mérite. Je ne touche pas aux moyens de l'exécution, parce que je sais bien

que vous n'omettrez aucune des circonstances nécessaires pour le faire avec précaution.

« Je vous prie seulement que ce soit le plus tôt qu'il vous sera possible, et d'excuser cette liberté où m'oblige l'impatience que j'ai d'en apprendre le succès, sans lequel je ne puis mettre la dernière main au *Traité* que j'ai promis au public, ni satisfaire au désir de tant de personnes qui l'attendent, et qui vous en seront infiniment obligées. Ce n'est pas que je veuille diminuer ma reconnaissance par le nombre de ceux qui la partageront avec moi, puisque je veux, au contraire, prendre part à celle qu'ils vous auront, et à demeurer d'autant plus, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur.

« Pascal (1). »

15 novembre 1647.

Périer reçut à Moulins la lettre de Pascal. Ses occupations de conseiller à la cour des aides le retinrent longtemps dans cette ville, il ne put se rendre à Clermont que dans l'hiver de l'année suivante. Mais, pendant toute la durée du printemps et de l'été, le sommet du Puy-de-Dôme resta enveloppé de brouillards ou couvert de neiges qui en empêchaient l'accès ; il ne se dégagea entièrement que dans les premiers jours de septembre.

Le 20 septembre, à cinq heures du matin, le temps paraissait beau, et la cime du Puy-de-Dôme se montrait à découvert : Périer résolut d'exécuter ce jour-là l'expérience depuis si longtemps méditée. Il fit avertir aussitôt les personnes qui devaient l'accompagner, et à huit heures du matin, tout le monde se trouvait réuni dans le jardin du couvent des Minimes : le Père Bannier, ancien supérieur de l'ordre, le Père Mosnier, chanoine de l'église cathédrale de Clermont, La Ville et Begon, conseillers à la cour des aides, et Laporte, médecin de Clermont, furent les témoins et les acteurs de cette expédition mémorable.

(1) *Œuvres de Blaise Pascal*, t. IV, p. 346.

Périer prit deux tubes de verre, longs de quatre pieds et fermés par un bout ; il les remplit de mercure et fit l'*expérience du vide*, c'est-à-dire les renversa sur un bain de mercure. Il marqua avec la pointe d'un diamant la hauteur occupée dans le tube par la colonne de mercure au-dessus du niveau du réservoir ; cette hauteur, plusieurs fois vérifiée, était, dans les deux tubes, de vingt-six pouces trois lignes et demie. L'un de ces tubes fut fixé à demeure et laissé en expérience ; le Père Chastin, un des religieux de la maison, fut chargé de le surveiller et d'y observer la hauteur du mercure pendant toute la journée. La compagnie quitta alors le couvent, emportant le second tube, et l'on commença à dix heures à gravir la montagne. On atteignit au milieu de la journée son sommet le plus élevé. Arrivé là, Périer répéta l'*expérience du vide* telle qu'il l'avait exécutée le matin dans le jardin des Minimes, et il s'empressa de mesurer l'élévation du mercure au-dessus du réservoir : le liquide, qui, au pied de la montagne, s'élevait à vingt-six pouces trois lignes et demie, ne s'élevait plus qu'à vingt-trois pouces deux lignes ; il y avait donc trois pouces une ligne et demie de différence entre les deux mesures prises à la base et au sommet du Puy-de-Dôme.

Quand ils furent revenus de la surprise et de la joie que leur faisait éprouver une aussi éclatante confirmation des prévisions de la théorie, les expérimentateurs s'empressèrent de répéter l'observation en variant les circonstances extérieures. On mesura cinq fois la hauteur du mercure : tantôt à découvert, dans un lieu exposé au vent, tantôt à l'abri, sous le toit d'une petite chapelle qui se trouvait au plus haut de la montagne, une fois par le beau temps, une autre fois pendant la pluie, ou au milieu des brouillards qui venaient de temps en temps visiter ces sommets déserts : le mercure marquait partout vingt-trois pouces deux lignes.

On se mit alors à redescendre. Arrivé vers le milieu de la montagne, Périer jugea utile de répéter l'observation, afin de reconnaître si la colonne de mercure décroissait proportionnellement avec la hauteur des lieux. L'expérience donna le résultat prévu : le mercure s'élevait à vingt-cinq pouces, mesure supérieure d'un pouce dix lignes à celle qu'on avait prise sur la hauteur du Puy-de-Dôme, et inférieure d'un pouce trois lignes à l'observation prise à Clermont-Ferrand. Périer fit deux fois la même épreuve, qui fut répétée une troisième fois par le Père Mosnier : ainsi le niveau du mercure s'abaissait selon les hauteurs.

Les heureux expérimentateurs étaient de retour au couvent avant la fin de la journée. Ils trouvèrent le Père Chastin continuant d'observer son appareil. Le patient religieux leur apprit que la colonne de mercure n'avait pas varié une seule fois depuis le matin. Comme dernière confirmation, Périer remit en expérience l'appareil même qu'il rapportait du Puy-de-Dôme : le mercure s'y élevait, comme le matin, à la hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie.

Le lendemain, le Père de La Mare, théologal de l'église cathédrale, qui avait assisté la veille à tout ce qui s'était passé dans le couvent des Minimes, proposa à Périer de répéter l'expérience au pied et sur le faîte de la plus haute des tours de l'église Notre-Dame à Clermont. On trouva une différence de deux lignes entre les deux mesures prises à la base et au sommet de la tour. Enfin en déterminant comparativement la hauteur du mercure dans le jardin des Minimes, situé dans une des positions les plus basses de la ville, et sur le point le plus élevé de la même tour, on constata une différence de deux lignes et demie.

Périer s'empressa d'informer son beau-frère du grand résultat que l'expérience venait de lui fournir ; Pascal en reçut la nouvelle avec une joie facile à comprendre. D'après

la relation de Périer une différence de vingt toises d'élévation dans l'air suffisait pour produire, dans la colonne de mercure, un abaissement de deux lignes. Pascal pensa, d'après cela, qu'il serait facile de répéter l'expérience à Paris. Il l'exécuta en effet sur la tour Saint-Jacques la Boucherie, haute de vingt-cinq toises. Il trouva entre la hauteur du mercure, au bas et au sommet de cette tour, une différence de plus de deux lignes (1). Dans une maison particulière, dont l'escalier avait quatre-vingt-dix marches, il prit la même mesure dans la cave et sur les toits : il put reconnaître ainsi un abaissement d'une demi-ligne.

Ainsi, les prévisions de Pascal étaient confirmées dans toute leur étendue ; la maxime de l'horreur du vide n'était plus qu'une chimère condamnée par l'expérience, et un horizon nouveau s'offrait à l'avenir des sciences physiques. La découverte de la pesanteur de l'air et la mesure de ses variations à l'aide du tube de Torricelli devinrent en effet le point de départ et l'origine des grands travaux qui devaient élever la physique sur les bases positives où elle repose aujourd'hui. Le tube de Torricelli, dont Pascal venait de faire un admirable moyen de mesurer la pression atmosphérique, apporta aux observateurs un secours de la plus haute importance, en ce qu'il permit de soumettre au calcul et de ramener à des conditions comparables un grand nombre de phénomènes naturels qu'il importait d'étudier.

Pascal ne manqua pas de saisir toute la portée du principe fondamental qu'il venait de mettre en lumière, et le fait de la pression que l'air atmosphérique exerce sur tous les corps qui nous environnent lui permit d'expliquer plusieurs phénomènes physiques dont la cause s'était dérobée jusque-là à toute interprétation. L'ascension de l'eau dans les pompes,

(1) C'est pour consacrer le souvenir de ce grand fait que la statue de Pascal a été placée en 1856 au bas de la tour Saint-Jacques la Boucherie, dans la rue de Rivoli à Paris.

le jeu du siphon, et divers autres faits particuliers du même ordre, reçurent de lui l'explication la plus nette et la mieux fondée.

La découverte de la pesanteur de l'air produisit parmi les savants l'impression la plus vive ; les partisans de l'opinion du plein universel furent réduits au silence. Cependant il manquait encore quelque chose à la démonstration complète de l'existence du vide et de la pesanteur de l'air. En montrant qu'une colonne de mercure est tenue en équilibre, dans un tube vide, par le poids de l'atmosphère, on ne prouvait la pesanteur de l'air que d'une manière indirecte, et ce moyen ne pouvait servir d'ailleurs à peser un volume d'air déterminé. Il fallait, pour achever la démonstration, donner aux physiciens les moyens de peser un vase tantôt plein, tantôt vide d'air. Aussi les savants s'occupèrent-ils dès ce moment avec beaucoup d'ardeur à combiner quelque instrument susceptible de produire le vide dans un espace clos.

C'est à un physicien de Magdebourg, Otto de Guericke, conseiller de l'électeur Frédéric-Guillaume et bourgmestre de la ville de Magdebourg, qu'était réservée la gloire de découvrir l'important appareil que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de *machine pneumatique*.

La machine pneumatique n'a été imaginée et construite par Otto de Guericke qu'après une série de tâtonnements et d'essais à peu près ignorés de nos jours, et qu'il n'est pas cependant sans intérêts de connaître. Pour obtenir un espace entièrement vide d'air, le physicien de Magdebourg essaya d'abord de se servir d'un tonneau rempli d'eau et fermé de toutes parts. Après avoir appliqué à sa partie inférieure le tuyau d'une pompe à incendie, il commença à faire jouer la pompe ; mais avant que l'eau fût entièrement évacuée, les cercles de fer qui reliaient les douves du tonneau s'étaient rompus sous l'effort de la pression atmosphérique. Otto de

Guericke arma alors le tonneau de cercles beaucoup plus forts, et trois hommes vigoureux furent employés à faire agir la pompe. Mais à mesure que l'eau était expulsée, un léger sifflement se faisait entendre : l'air s'introduisait à travers les pores du bois. Force fut de chercher un nouveau moyen. Otto de Guericke eut alors l'idée d'enfermer un tonneau rempli d'eau et de petite dimension, dans un autre plus grand et également plein d'eau ; le tuyau de la pompe aspirante venait s'appliquer à l'orifice du petit tonneau intérieur en traversant le tonneau extérieur. On fit alors jouer la pompe. Aucun accident ne vint contrarier l'expérience ; mais à la fin de la journée, et lorsque l'eau se trouvait évacuée presque tout entière, on entendit un gargouillement qui annonçait le passage de l'air à travers la substance des deux tonneaux. Ce bruit persista trois jours, et lorsque, au bout de ce temps, on retira le tonneau intérieur pour l'examiner, on le trouva à moitié rempli du liquide qui s'était fait jour à travers ses parois.

L'insuffisance des vases de bois pour obtenir un espace vide d'air étant ainsi reconnue, Otto de Guericke eut recours à des vases métalliques. Il fit préparer une sphère de cuivre d'une assez grande capacité, armée d'un robinet à sa partie supérieure et portant à sa partie inférieure un orifice destiné à recevoir le tuyau de la pompe. Il se dispensa pour cette fois de remplir d'eau le vase, espérant que la pompe aspirerait l'air comme elle avait aspiré l'eau. Ce résultat ne manqua pas de se produire. Dans les premiers moments, la pompe jouait avec facilité; mais à mesure que l'air était chassé, il fallait, pour soulever le piston, des efforts de plus en plus considérables, et c'est à peine si deux hommes vigoureux pouvaient suffire à ce travail. L'opération était assez avancée et la plus grande partie de l'air se trouvait chassée du globe métallique, lorsque tout à coup, et au grand effroi des assis-

tants, le vase éclata avec grand bruit et se brisa, « comme « si on l'eût jeté avec violence du haut d'une tour (1). » Otto de Guericke saisit avec sagacité la cause de cet accident : l'ouvrier avait négligé de donner au vase de cuivre une forme parfaitement sphérique dans toutes ses parties ; or la forme sphérique est la seule qui puisse garantir un récipient vide d'air des effets de la pression considérable que le poids de l'air extérieur exerce sur lui dans tous les sens. Un nouvel appareil ayant été construit avec les soins nécessaires, l'expérience, reprise, eut un succès complet, et l'air fut en totalité expulsé, sans autre accident, du récipient métallique. Mais l'opacité du métal eût dérobé aux yeux les expériences auxquelles on destinait la machine ; Otto remplaça donc la sphère de cuivre par un ballon de verre qui s'ajustait à la pompe aspirante au moyen d'une garniture de cuivre. En définitive, la machine à laquelle il s'arrêta, et que l'on trouve encore dans les anciens cabinets de physique, présentait la forme suivante : un ballon de verre, muni d'une tubulure et d'un robinet de cuivre, et vissé sur le tuyau d'une autre petite pompe aspirante placée verticalement au-dessous de lui ; une manivelle à bras horizontal sert à faire jouer la pompe ; tout l'appareil est supporté par un montant formé de trois pieds de fer.

Cette machine était imparfaite à bien des égards ; son inconvénient principal tenait à la forme du récipient, qui ne permettait point d'y introduire des corps d'un certain volume. Elle suffit néanmoins à l'ingénieux physicien de Magdebourg pour démontrer une série de vérités qui jetèrent sur les faits physiques les plus utiles lumières. Otto de Guericke démontra matériellement les poids de l'air atmosphérique, en pesant un vase dans lequel le vide avait été fait au

(1) « *Vel ac si globus ab altissima turre lapsu graviore projectus fuisset.* » (*Ottonis de Guericke experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*, p. 75.)

moyen de sa machine, et en le pesant de nouveau après la rentrée de l'air. Poursuivant la voie ouverte par Pascal, il expliqua, par le fait de la pression atmosphérique et par l'élasticité de l'air, un grand nombre de faits qui jusque-là avaient paru inexplicables. Il mit hors de doute, par exemple, l'influence de l'air sur la propagation du son, son rôle dans la translation de la lumière, dans les phénomènes de la combustion, de la respiration et de la vie des animaux.

Mais de tous les faits remarquables dont le bourgmestre de Magdebourg enrichissait la physique naissante, aucuns n'excitèrent d'étonnement plus vif ni d'admiration plus méritée, que la série d'effets mécaniques véritablement extraordinaires auxquels il donna naissance en mettant adroitement en jeu la pression atmosphérique. L'expérience connue sous le nom des *hémisphères de Magdebourg* attira l'attention de tout le monde savant, autant par l'originalité et la beauté du fait en lui-même, que par l'importance des résultats mécaniques qu'elle laissait entrevoir. Cette expérience est si généralement connue, que c'est à peine s'il est nécessaire de la rappeler. On sait qu'Otto de Guericke, ayant préparé deux demi-sphères de cuivre réunies l'une à l'autre par l'interposition d'un cuir mouillé, opéra le vide dans l'intérieur de cette sphère à l'aide de sa machine pneumatique. L'air une fois chassé de l'intérieur du globe, les deux demi-sphères se trouvaient pressées l'une contre l'autre par tout le poids de la colonne atmosphérique qu'elles supportaient, et cette pression était si considérable, qu'elles résistaient à toutes les forces employées pour les désunir. Le premier appareil de ce genre, construit par Otto de Guericke, avait un diamètre de trois quarts d'aune de Magdebourg. Il fit atteler à deux anneaux fixés à chacun des hémisphères seize chevaux qui, tirant horizontalement en sens contraire, ne purent vaincre la résistance que l'air opposait à leur séparation. Le même appareil, suspendu au plafond d'une chambre, supportait un

poids de 2686 livres. On construisit ensuite une autre sphère d'une aune de diamètre; l'effort de vingt-quatre chevaux ne put rompre l'adhérence de ses deux parties : les hémisphères supportaient, sans se séparer, un poids de 5400 livres.

Otto de Guericke varia de cent manières cette curieuse démonstration de la pesanteur de l'air et de ses effets mécaniques. En 1654, pendant son séjour à Ratisbonne, où l'appelait son emploi de conseiller de l'électeur de Brandebourg, il exécuta devant le prince de Auerberg, envoyé de l'empereur, une expérience des plus remarquables sous ce rapport. Il vissa à un cylindre métallique le récipient de verre de sa machine pneumatique, dans lequel on avait fait préalablement le vide. Dans l'intérieur du cylindre, jouait un piston auquel était attachée, par un anneau, une corde s'enroulant sur une poulie : vingt personnes étaient employées à retenir la corde. Tout ainsi disposé, Otto de Guericke ouvrit subitement le robinet du ballon : l'air contenu dans le cylindre se précipita dans l'intérieur du ballon vide pour en remplir la capacité, et dès lors la pression atmosphérique qui s'exerçait sur la tête du piston, n'étant plus contre-balancée sur sa face inférieure, abaissa aussitôt le piston jusqu'au fond du cylindre avec tant de violence, que les vingt personnes qui retenaient la corde se trouvèrent soulevées en l'air à plusieurs pieds de hauteur.

Ce n'était pas sans raison que tous les savants de l'Europe suivaient avec un intérêt et une curiosité extraordinaires les expériences qui s'exécutaient en Allemagne sur les étonnants effets de la pression atmosphérique ; ce n'est pas sans motifs non plus que nous les avons rappelées avec détail. Par l'effet de la transformation sociale qui, depuis un siècle, était en train de s'accomplir, l'industrie commençait chez tous les peuples à prendre son essor. Cependant l'âme manquait au grand corps qui s'organisait : l'industrie n'avait point de moteur, ou n'avait que des moteurs insuffisants. La force

les hommes et des chevaux, la puissance des vents, l'action des torrents et des cours d'eau, insuffisantes dans bien des cas sous le rapport de l'intensité motrice, faisaient défaut dans beaucoup de localités, ou ne pouvaient s'appliquer commodément et avec économie aux besoins de l'industrie. Or, quand on se rappelait que, d'après les découvertes de Pascal, chaque décimètre carré (pour employer les mesures de nos jours) de la surface de tous les corps placés sur la terre, supporte, par l'effet de la pression atmosphérique, un poids équivalent à 100 kilogrammes, et quand on voyait Otto de Guericke apporter le moyen pratique d'anéantir, à un moment donné, la résistance qui s'oppose à la manifestation de cette force, on ne pouvait s'empêcher d'espérer une application prochaine de ce remarquable fait. Tous les physiciens de cette époque étaient frappés de la grandeur et de l'avenir de cette idée, et chacun pressentait qu'il y avait dans les expériences du bourgmestre de Magdebourg les préludes d'une révolution capitale dans les moyens de l'industrie.

Lorsque, par le progrès des temps, les sciences ont amassé un certain nombre de faits théoriques susceptibles de s'appliquer utilement aux besoins des hommes, il est rare que quelque grand esprit n'apparaisse pas, au moment nécessaire, pour tirer de ces notions générales les conséquences qu'elles renferment, et pour hâter l'instant où l'humanité doit être mise en possession de ces biens nouveaux. L'homme de génie qui devait féconder pour l'avenir l'ensemble des belles découvertes dont le récit vient de nous occuper, ne se fit pas attendre : il était Français et s'appelait Denis Papin.

CHAPITRE V

Denis Papin. — Sa vie et ses travaux.

Papin naquit à Blois, le 22 août 1647, d'une famille considérée dans le pays, et qui appartenait à la religion réformée. Il était fils d'un médecin et avait pour parent Nicolas Papin, autre médecin connu par quelques ouvrages scientifiques. On ne sait rien sur son enfance ni sur les événements de sa jeunesse ; il paraît seulement qu'il avait ressenti de bonne heure un goût très-vif pour les sciences mathématiques. L'éducation publique était alors, dans la ville de Blois, entre les mains des jésuites, qui accordaient, à cette époque, une assez grande part à l'étude des sciences. Les protestants fréquentaient quelquefois les écoles des jésuites : Papin dut recevoir chez eux ses premières leçons de mathématiques. Il fit à Paris ses études médicales. Cependant ce n'est pas dans cette université qu'il reçut son grade de docteur, car son nom ne figure pas sur la liste des gradués de la Faculté de Paris, publiée en 1752, et qui comprend les noms de tous les docteurs, à partir de l'année 1539. Orléans possédait une université ; il est donc probable que ce fut dans la capitale de sa province que Denis Papin alla recevoir son grade. Quoi qu'il en soit, on le trouve à l'âge de vingt-quatre ans établi à Paris pour y exercer sa profession. Mais son inclination naturelle pour les sciences physiques lui rendait sans doute plus aride le pénible sentier de la carrière médicale ; il ne tarda pas à tourner exclusivement son esprit vers les travaux de la physique expérimentale et de mécanique appliquée. Il avait rencontré quelques protecteurs puissants qui favorisaient son goût pour ce genre de recherches.

« J'avois alors, nous dit-il lui-même, l'honneur de vivre à la « bibliothèque du roi et d'aider M. Huygens dans un grand « nombre de ses expériences. J'avois beaucoup à faire tou- « chant la machine pour appliquer la poudre à canon à lever « des poids considérables, et j'en fis l'essai moi-même quand « on la présenta à M. de Colbert (1). » Le célèbre Huygens, l'inventeur des horloges à pendule, habitait alors notre capitale, pendant que son père, Constantin Huygens, gentilhomme hollandais, s'y occupait de diplomatie. Il avait consenti à se fixer en France, sur les instances de Colbert, qui, en fondant l'Académie des sciences, l'avait inscrit l'un des premiers sur la liste de ses membres. Pour décider le savant hollandais à résider en France, Colbert lui faisait une forte pension, et lui avait accordé un logement à la Bibliothèque royale. Papin prêtait son aide à Huygens pour ses expériences de mécanique, et partageait son logement. Il avait dû cette position avantageuse à la protection de madame Colbert, femme d'un grand mérite, originaire de Blois, et à laquelle, selon Bernier, « une infinité de gens de ce pays « devaient leur fortune (2). »

Papin publia son premier ouvrage à Paris, en 1674, sous ce titre : *Nouvelles Expériences du vuide, avec la description des machines qui servent à le faire.* Ce petit écrit, qui n'existe plus de nos jours, contenait la description de certaines modifications de faible importance apportées à la machine du bourgmestre de Magdebourg (3). Les *Nouvelles Expériences du vuide* furent accueillies avec faveur. M. Hublin, célèbre émailleur du roi et ami particulier de Papin, présenta l'ou-

(1) *Acta eruditorum Lipsiæ*, septembre 1688.

(2) *Histoire de Blois*, 1782. Épître-dédicace.

(3) Les modifications apportées par Denis Papin à la machine pneumatique d'Otto de Guericke se trouvent reproduites dans un article de lui, imprimé dans les *Actes de Leipsick*, au mois de juin 1687, sous ce titre : *Augmenta quædam et experimenta nova circa antliam pneumaticam, facta partim in Anglia, partim in Italia.*

vrage à l'Académie des sciences, et le *Journal des savants* le signala avec éloges.

La carrière s'ouvrait donc pour le jeune physicien sous les plus heureux auspices. Le petit nombre d'hommes instruits qui se trouvaient alors dans la capitale tenaient dans la plus grande estime sa personne et ses talents, et le *Journal des savants*, dispensateur de la considération et de la fortune scientifiques, l'accueillait avec faveur. Cependant, une année après, nous voyons Papin quitter subitement la France pour passer en Angleterre. Quel motif pouvait le porter à abandonner sa patrie? Avait-il encouru la disgrâce de Colbert? Obéissait-il simplement à cette humeur un peu vagabonde qui le fit désigner par un de ses contemporains sous le nom de *philosophe cosmopolite?* On l'ignore. Les historiens et les auteurs de mémoires de la fin du XVII[e] siècle, tout entiers au récit des intrigues de cour ou des sanglants épisodes de nos guerres, n'ont pas une ligne à consacrer à ces esprits d'élite qui employaient tous les moments de leur laborieuse existence à préparer à l'humanité des destinées meilleures, et qui souvent ne recevaient en retour que la misère ou l'oubli. Le nom d'Amontons, l'un des physiciens français les plus remarquables du XVII[e] siècle, est à peine prononcé dans les écrits de l'époque, et le génie de Mariotte s'éteignit au milieu de l'indifférence de son temps. Papin n'a pas attiré davantage l'attention des historiens. C'est dans ses propres ouvrages, dans un petit nombre de recueils scientifiques, ou dans les lettres éparses de quelques savants dont la correspondance s'est conservée, qu'il faut aller puiser les rares documents qui nous restent sur les événements de sa vie. Tous ces documents sont muets sur la cause de son départ pour Londres; le *Journal des savants* nous apprend seulement que c'est à la fin de l'année 1675 qu'il quitta Paris (1).

(1) *Journal des savants*, du 17 février 1676.

Peu de temps après son arrivée en Angleterre, Papin eut l'heureuse inspiration de se présenter à Robert Boyle, l'illustre fondateur de la Société royale de Londres. C'est ce que nous apprend Boyle lui-même : « Il arriva heureusement, dit-« il, qu'un certain traité françois, petit de volume, mais très-« ingénieux, contenant plusieurs expériences sur la conser-« vation des fruits, et quelques autres points de différentes « matières, me fut remis par M. Papin, qui avoit joint ses « efforts à ceux de l'éminent Christian Huygens pour faire « lesdites expériences (1). » Dans la suite de l'entretien qu'il eut avec lui, apprenant « que le docteur Papin n'étoit ar-« rivé de France en Angleterre que depuis peu de temps, « dans l'espoir d'y trouver un lieu qui fût convenable à « l'exercice de son talent, » Boyle résolut de l'associer à ses travaux.

Aucune position ne pouvait mieux convenir aux goûts et aux désirs de Papin. Issu d'une grande famille de l'Irlande, Robert Boyle, pour se vouer tout entier à l'étude des sciences, avait renoncé aux avantages que lui assuraient sa fortune et son rang. Il avait consacré six années de sa jeunesse à voyager sur le continent, pour perfectionner ses connaissances et fuir le spectacle des troubles civils qui déchiraient sa patrie. A son retour en Angleterre, la lutte durait encore entre le parlement et la royauté ; Boyle se retira dans sa terre de Stuldbridge, et c'est là qu'au sein de la retraite et de la paix, loin du tumulte des villes et de l'agitation des partis, il poursuivait les beaux travaux qui devaient le placer à un rang si élevé dans la reconnaissance et l'admiration de son pays. Il réunissait autour de lui un certain nombre d'hommes distingués, qui cherchaient dans la culture des sciences et des arts un asile contre les dissensions du dehors. Cette réunion, qui portait le nom de *Collége philosophique*, se rassemblait

(1) *Roberti Boyle opera varia.* Genève, 1682, t. II.

sous sa direction, tantôt à Oxford, tantôt à Londres. Lorsqu'en 1660, Charles II monta sur le trône d'Angleterre, il fonda, des débris de cette réunion nomade, la *Société royale de Londres*, que Boyle fut chargé d'organiser. L'illustre savant refusa de présider cette société, il rejeta même les honneurs de la pairie pour reprendre le cours de ses travaux scientifiques.

Boyle s'était occupé avec succès de continuer les recherches d'Otto de Guericke sur le vide et la pression atmosphérique ; il avait publié ses expériences sur ce sujet, laissant à d'autres le soin de les poursuivre. Lorsque Papin arriva en Angleterre, il pensait néanmoins à les reprendre, mais il ne trouvait personne pour le seconder. L'habileté de Papin et ses études spéciales sur la machine pneumatique lui rendaient son secours utile de toutes manières ; il l'admit donc dans son laboratoire. Commencées le 11 juillet 1676, les expériences qu'ils exécutèrent ensemble furent continuées jusqu'au 17 février 1679. Parmi ces expériences, il faut citer leurs recherches relatives à la vapeur de l'eau bouillante, qui plus tard devaient porter leurs fruits entre les mains du savant français. Boyle reconnaît avec beaucoup de loyauté que les services de Papin lui furent d'une grande utilité, et qu'il était d'une habileté rare dans la construction et le maniement des appareils de physique : « Plusieurs des machines « dont nous faisions usage, dit-il, particulièrement la ma« chine pneumatique à deux corps de pompe et le fusil à « vent, étaient de son invention, et en partie fabriqués de sa « main. »

L'amitié de Robert Boyle et le mérite de ses travaux ouvrirent à Papin les portes de la Société royale de Londres. Il y fut admis le 16 décembre 1680, et ne tarda pas à se placer à un rang distingué parmi les membres de cette compagnie célèbre. C'est peu de temps après, en 1681, qu'il fit connaître pour la première fois, dans un ouvrage écrit en anglais, sous le

titre de *New Digester*, l'appareil qui a reçu en France le nom de *digesteur* ou de *marmite de Papin* (1). Le digesteur, selon Papin, permettait de cuire les viandes en peu de temps et à peu de frais, tout en améliorant leur goût. Il donnait en même temps le moyen de ramollir les os, c'est-à-dire de les transformer en une substance qui a reçu de nos jours le nom de *gélatine*, ce qui ajoutait à la quantité de matière nutritive contenue dans les diverses parties du corps des animaux. Cet appareil, qui a été renouvelé de nos jours sous le nom d'*autoclave*, est loin cependant d'avoir réalisé les promesses de l'inventeur; les viandes cuites par ce moyen contractent une saveur ammoniacale. Aussi, quoique Leibnitz ait dit dans une de ses lettres : « Un de mes amis me mande « avoir mangé un pâté de pigeonneaux préparé de la sorte « par le digesteur, et qui s'est trouvé excellent (2), » il est permis de contester l'utilité de ce procédé de cuisine économique.

La marmite de Papin était munie d'un appareil connu de nos jours sous le nom de *soupape de sûreté*, et qui constitue l'un des organes les plus importants de la machine à vapeur moderne. Tout le monde s'accorde à ajouter la plus haute importance à la découverte de cet appareil, que l'on regarde comme le prélude des travaux de Papin sur la vapeur. Au risque de paraître soutenir un paradoxe, nous oserons nous séparer encore sur ce point de l'opinion commune. Comme nous nous efforçons d'appuyer sur des textes authentiques les principaux faits exposés dans ce récit, nous citerons le passage original du livre de Papin sur le digesteur. On verra

(1) La traduction française du *New Digester* fut publiée à Paris, en 1682, par Comiers, sous ce titre : *La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et à peu de frais, avec une description de la machine dont il se faut servir pour cet effet, ses propriétés et ses usages, confirmés par plusieurs expériences, nouvellement inventée par M. Papin, docteur en médecine.*

(2) *Opera*, in-4°, 1768, t. I, p. 165.

que la soupape de sûreté a une origine beaucoup plus humble qu'on ne l'imagine.

Papin commence par donner la description de son digesteur. L'appareil se compose de deux cylindres creux rentrant l'un dans l'autre : le premier, à parois métalliques très-épaisses, renferme l'eau que l'on doit convertir en vapeurs; le second, plus petit, sert à contenir les viandes. Tout l'appareil est fermé par un épais couvercle métallique s'adaptant parfaitement aux contours du cylindre, auquel il est fixé par des écrous très-solides : quand on veut s'en servir, on le place sur un fourneau allumé. La marmite de Papin n'est donc qu'une sorte de bain-marie, dans lequel seulement la vapeur, renfermée dans un espace clos, ne peut se dégager au dehors. Après avoir donné la description de sa marmite, Papin ajoute :

« Cette machine est sans doute fort simple et peu sujette à se gâter, mais elle est incommode en ce qu'on ne regarde pas dedans aussi aisément que dans le pot ordinaire, et comme elle fait plus ou moins d'effet, selon que l'eau qui y est se trouve plus ou moins pressée, et aussi que la chaleur est plus ou moins grande, il pourrait arriver quelquefois que vous tireriez vos viandes avant qu'elles fussent cuites, et d'autres fois que vous les laisseriez brûler; ainsi il a fallu chercher des moyens pour connaître et la quantité de pression qui est dans la machine, et le degré de chaleur.

« Il n'y a qu'à faire un petit tuyau ouvert des deux bouts, et, l'ayant soudé sur un trou fait au couvercle, il faut appliquer sur l'ouverture d'en haut de ce tuyau une petite soupape bien exacte et garnie de papier. »

Pour connaître le degré de la pression de la vapeur, Papin fermait cette soupape au moyen d'une petite verge de fer qui, fixée par une de ses extrémités à une charnière, portait, à l'autre bout, un poids mobile à la manière des romaines. Il avait déterminé la pression nécessaire pour soulever ce poids.

« De sorte, ajoute-t-il, que lorsque la soupape laisse échapper quelque chose, je conclus que la pression dans le bain-marie est environ huit fois plus forte que la pression de l'air, puisqu'elle peut soulever, non-seulement le poids qui résiste à six pressions, mais aussi la verge que j'ai éprouvée, qui résiste à deux, et ainsi, en augmentant ou diminuant le poids, ou en le changeant de place, je connais toujours à peu près combien la pression est forte dans la machine (1). »

Ainsi Papin n'avait imaginé son levier et sa soupape que pour *savoir ce qui se passait dans le pot*, et pour veiller à l'exacte cuisson des viandes. En faisant varier la position occupée par le poids sur le bras de la romaine, il reconnaissait approximativement le degré de pression auquel se trouvaient soumises les viandes placées dans le bain-marie. A cette époque, en effet, il était loin encore de songer à construire une machine fondée sur la force élastique de la vapeur d'eau ; et bien plus, lorsqu'il proposa cette machine, il ne pensa nullement à la munir de sa soupape. Dans son célèbre mémoire de 1690, où il donne la description de la première machine à vapeur, il n'est rien dit de la soupape de sûreté. L'idée d'appliquer un tel instrument à prévenir l'explosion de la chaudière d'une machine à vapeur ne lui vint que vingt-sept ans plus tard, en 1707, c'est-à-dire quinze années après la publication de ce mémoire. C'est le physicien Désaguliers qui transporta le premier dans la pratique cette idée de Papin. En 1717, Désaguliers appliqua, en Angleterre, à une machine de Savery, la soupape du digesteur de Papin, que ce dernier avait proposée en 1707 comme un moyen de se mettre à l'abri des explosions auxquelles cette machine donnait lieu. La construction du digesteur n'a donc exercé aucune influence sur la découverte de la machine à feu ; si elle y contribua en quelque chose, ce ne fut guère qu'en familiarisant l'inventeur avec l'usage pratique de la vapeur d'eau.

(1) *La Manière d'amollir les os*, p. 10.

Depuis la publication de son *New Digester*, Papin se trouvait à Londres dans une position plus avantageuse peut-être que celle qu'il avait occupée à Paris. Il appartenait à la Société royale, la première des Académies de l'Europe ; en outre, la protection de Robert Boyle lui permettait d'espérer beaucoup, car ce savant illustre, successivement honoré de l'estime de Charles II, de Jacques II et de Guillaume, savait user en faveur de ses amis d'un crédit qu'il dédaignait pour lui-même. D'un autre côté, il continuait à entretenir avec son pays de bonnes relations ; on insérait régulièrement dans le *Journal des savants* les communications qu'il lui adressait. Aussi ne peut-on se défendre d'un certain sentiment de dépit contre son humeur vagabonde, lorsqu'on le voit déserter tout d'un coup le sol hospitalier qui l'a reçu, et de même qu'il avait abandonné la France pour l'Angleterre, abandonner l'Angleterre pour l'Italie. Le chevalier Sarroti, secrétaire du sénat de Venise, venait de fonder dans cette ville, par l'ordre du sénat, une nouvelle Académie, en vue du perfectionnement des sciences et des lettres, « avec une « dépense et une générosité tout à fait extraordinaires, » dit Papin (1). Sarroti offrit au physicien français une position dans cette Société, et Papin accepta un peu à l'étourdie. Il résulte d'une lettre de lui, datée d'Anvers le 1er mars 1681, et adressée au docteur Croune, que depuis peu de jours il avait quitté l'Angleterre. Dans cette lettre, il priait son ami de remettre sa machine à la Société, à laquelle il offrait en même temps ses services en quelque lieu qu'il se trouvât. La Société royale, qui le vit partir avec regret, tint note de la promesse, et inscrivit son nom sur la liste de ses membres honoraires.

Papin séjourna plus de deux ans à Venise, occupé presque sans relâche à des expériences de physique. Ses travaux lui

(1) *Journal des savants*, 1684, p. 82.

acquirent chez les Italiens une grande réputation. La mention seule de son opposition aux idées du respectable Guglielmini sur une question d'hydraulique « faisait peur à ce savant, » et plusieurs années après sa mort, un physicien florentin parle de « la célèbre machine, le *Digesteur*, inventé « par Papin, pour expliquer la cause des volcans et des « tremblements de terre, débattue depuis des milliers d'an« nées par les Babyloniens, les Grecs, les Romains, et tous « les philosophes anciens et modernes. » Cependant il finit par s'apercevoir qu'il fallait beaucoup rabattre de la « générosité tout à fait extraordinaire » du chevalier Sarroti. En même temps que sa renommée grandissait, il voyait chaque jour s'amoindrir ses ressources, et il vint un moment où, désespérant de trouver en Italie la position avantageuse sur laquelle il avait compté, il dut prendre le parti de laisser à leurs travaux le chevalier Sarroti et ses académiciens.

En quittant Venise, Papin revint directement en Angleterre : il espérait y ramasser les lambeaux de son crédit et de sa fortune. Mais ses longues pérégrinations avaient refroidi le zèle de ses amis, et tout ce qu'il put obtenir, ce fut d'entrer en qualité de pensionnaire à la Société royale. Il fut chargé d'exécuter les expériences ordonnées par l'Académie, et de copier sa correspondance ; il recevait pour toute rétribution la somme de 62 francs par mois.

C'est pendant ce second séjour en Angleterre qu'il conçut et exécuta la première machine qui devait le mettre sur la trace de sa découverte des applications de la vapeur.

Nous avons insisté sur l'importance que l'on attachait, à la fin du XVIIe siècle, à l'emploi mécanique de la pression de l'air ; on y voyait le moyen de doter l'industrie du moteur qui lui manquait. Depuis les recherches qu'il avait effectuées avec Boyle sur la machine pneumatique, Papin nourrissait plus particulièrement cette grande pensée. Il crut avoir découvert le moyen de la réaliser, en employant comme

moteur direct, la machine pneumatique exécutée en grand. Tel était son dessein lorsqu'il présenta, en 1687, à la Société royale, le modèle d'une machine destinée à *transporter au loin la force des rivières*. Cette machine se composait de deux vastes corps de pompe dont les pistons étaient mis en jeu par une chute d'eau, et qui servaient à faire le vide dans l'intérieur d'un long tuyau métallique. Une corde attachée à l'extrémité de la tige du piston devait transmettre une force motrice considérable, lorsque, par l'effet de la pression atmosphérique, le piston, violemment chassé dans l'intérieur du tuyau, entraînerait avec lui les poids qui le retenaient (1). C'était, comme on le voit, le principe de nos chemins de fer atmosphériques, sur lesquels nous aurons à appeler l'attention dans le cours de ce volume. Cependant les essais auxquels on soumit cette machine en 1687, devant la Société royale, ne donnèrent que de mauvais résultats, soit en raison de la difficulté de maintenir le vide dans un long tuyau métallique, soit par suite de la lenteur extrême avec laquelle le mouvement se communiquait du piston aux fardeaux qu'il devait entraîner.

Papin avait fondé beaucoup d'espérances sur le succès de son appareil ; cet échec les détruisait sans retour. De tristes lueurs commençaient à assombrir l'horizon du philosophe. Son séjour en Italie avait absorbé les faibles ressources de son patrimoine, et la rémunération de 62 francs par mois qu'il recevait de la Société royale était par trop insuffisante pour ses besoins. Il reporta alors sa pensée vers la France; mais les portes de sa patrie lui étaient fermées : l'impolitique et inique révocation de l'édit de Nantes, portée en 1685,

(1) La description de cette machine a été publiée par Papin dans les *Actes de Leipsick* (*Acta eruditorum Lipsiæ*), décembre 1688, p. 644, sous ce titre : *De usu tuborum prægrandium ad propagandam in longinquam vim motricem fluviorum*. Elle a été reproduite dans un autre ouvrage de Papin : *Recueil de pièces diverses*, imprimé à Cassel en 1695.

frappait dans leur fortune et dans leurs droits les protestants français. Aux termes de cet arrêt, l'exercice de la médecine, de la chirurgie et de la pharmacie était interdit aux membres de la religion réformée. Papin aurait pu faire tomber d'un seul mot les barrières qui le séparaient de son pays, entrer à l'Académie des sciences, où sa place était depuis longtemps marquée, et recevoir les traitements flatteurs que l'on prodiguait, trois ans après, à son cousin Isaac Papin, dont l'exil fit fléchir le courage, et qui abjura en 1690 entre les mains de Bossuet. Il préféra un exil éternel à la honte d'une abjuration. En 1687, le landgrave Charles, électeur de Hesse, lui offrit une chaire de mathématiques à Marbourg. Malgré les préoccupations de la politique et de la guerre, ce prince éclairé s'était toujours plu à suivre et à encourager ses travaux. Papin s'empressa d'accepter l'offre de l'électeur. Il écrivit au secrétaire de la Société royale pour l'informer de la résolution qu'il avait prise, et le prier de lui compter l'arriéré de son traitement. Le trésorier reçut l'ordre de faire droit à cette demande; la Société décida en même temps, dans sa séance du 14 décembre 1687, que le docteur Papin recevrait en présent quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons*, comme un témoignage des bons services qu'elle avait reçus de lui. Papin emporta ses quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons*; mais c'était la perle de la fable: il est à croire que le *grain de mil* eût mieux convenu à l'état de ses affaires.

Arrivé à Marbourg, Papin commença ses leçons publiques de mathématiques. Ce nouveau métier, auquel il était peu fait, ne fut pas sans lui causer quelques ennuis et quelques difficultés au début. Néanmoins il reprit bientôt la suite de ses travaux accoutumés.

L'emploi du vide et de la pression atmosphérique, utilisés directement comme force motrice, avait mal réussi dans son appareil à double pompe pneumatique. Il espéra mieux rem-

plir le grand dessein qu'il se proposait en construisant une autre machine, également fondée sur l'emploi de la pression de l'air, mais dans laquelle le vide, au lieu d'être déterminé par le jeu d'une pompe pneumatique, serait obtenu en faisant détoner de la poudre à canon sous le piston de cette pompe. La poudre, brûlée dans un cylindre fermé par une soupape et parcouru par un piston, dilatait l'air par l'effet de la chaleur dégagée pendant la combustion ; cet air, s'échappant par la soupape, provoquait un vide dans le cylindre, et dès lors la pression atmosphérique, pesant sur la tête du piston, chassait celui-ci dans l'intérieur du corps de pompe. C'était, comme on le voit, le principe de la machine précédente ; seulement le vide était produit par un artifice d'une autre nature.

La machine à poudre que Papin fit connaître en 1688 (1), n'était pas, à proprement parler, une invention de ce physicien. La première idée en avait été émise par l'abbé de Hautefeuille, dans un mémoire imprimé à Paris en 1678 (2). A cette époque, le projet d'appliquer la pression atmosphérique à la création d'un nouveau moteur occupait tous les savants. L'abbé de Hautefeuille avait parlé le premier d'obtenir une force motrice empruntée à la pression atmosphérique, en faisant le vide dans un tuyau, par suite de la combustion de la poudre. Le principe de cette machine avait été conçu par l'abbé de Hautefeuille à l'époque où Louis XIV voulait élever les eaux de la Seine pour les consacrer à l'embellissement des jardins de Versailles ; les immenses difficultés de cette entreprise extravagante tenaient alors en haleine l'esprit de tous les mécaniciens français.

(1) *De novo pulveris pyrii usu* (*Acta eruditorum Lipsiæ*, septembre 1688, p. 496).

(2) *Pendule perpétuelle avec un nouveau balancier, et la manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon, et autres nouvelles inventions contenues dans une lettre adressée par M. de Hautefeuille à un de ses amis.* 1678, p. 16.

« Un si grand nombre d'inventions qui ont été proposées pour élever des eaux à Versailles m'engagea, dit Jean de Hautefeuille, à méditer sur les moyens de le faire avec facilité... Repassant ainsi dans mon imagination toutes les forces qui pouvaient être dans la nature, il s'en présenta une qui est infiniment plus grande que celle du vent, du courant des rivières et des torrents, et la plus violente qui ait jamais été : cette force est la poudre à canon, que l'on n'a point encore employée à l'élévation des eaux (1). »

Le principe était bon en lui-même, mais la machine proposée par l'abbé pour le mettre à exécution était des plus grossières. Elle se composait simplement d'une grande caisse disposée à trente pieds au-dessus de la masse d'eau qu'il s'agissait d'élever; cette caisse était munie de quatre soupapes s'ouvrant de dedans en dehors, et se terminait par un tube plongeant dans l'eau. Quand on enflammait, dans cette caisse, une certaine quantité de poudre à canon, on dilatait l'air contenu dans le tube, et cet air, s'échappant par les soupapes, provoquait, dans l'intérieur de cet espace, un vide partiel; par suite de ce vide, l'eau, pressée par l'atmosphère extérieure, s'élançait dans l'intérieur de l'appareil.

L'abbé de Hautefeuille, doué d'un certain esprit d'invention et de recherches, avait des habitudes scientifiques assez fâcheuses. Il abordait tous les sujets sans en approfondir un seul; il émettait en termes laconiques beaucoup d'idées vagues et mal formulées, et lorsque, plus tard, d'autres savants venaient à traiter sérieusement les questions qu'il n'avait fait qu'effleurer, il fatiguait le public du bruit de ses réclamations. C'est ainsi qu'il écrivait en 1682 :

« Il y a trois ou quatre ans que je proposai une force qui me semblait devoir être de quelque utilité; c'est la poudre à canon, qui produit l'effet de la pompe aspirante par la raréfaction de l'air, et celui de la pompe foulante par son effort. J'ai appris

(1) *Pendule perpétuelle*, etc., p. 90.

depuis ce temps-là que l'on avait fait une expérience à l'Académie royale des sciences, qui en approchait, et que l'on avait essayé ce principe pour l'élévation des corps solides... On m'a assuré qu'un gros de poudre à canon avait enlevé en l'air sept ou huit laquais qui retenaient le bout de la corde, et qu'ayant attaché des poids à son extrémité, ce gros de poudre avait enlevé 1,000 ou 1,200 livres pesant (1). »

Ce n'était point l'Académie qui avait exécuté l'expérience dont parle Jean de Hautefeuille, mais bien Huygens, qui avait substitué à ce grossier mécanisme un appareil beaucoup plus parfait, consistant essentiellement dans l'emploi d'un corps de pompe parcouru par un piston. La machine n'était plus bornée au seul objet de l'élévation des eaux à une hauteur de trente pieds ; elle devait constituer un moteur susceptible de recevoir toutes les applications industrielles. La figure ci-jointe que Huygens a donnée de son appareil en fait comprendre le mécanisme.

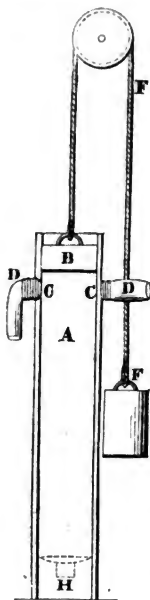


Fig. 4.

A est un cylindre métallique, B un piston mobile dans ce cylindre; une corde enroulée dans une poulie, et supportant le poids qu'il s'agit d'élever, est attachée à ce piston. Au bas du cylindre est une petite boîte H destinée à recevoir la poudre. D, D sont deux poches de cuir garnies de soupapes jouant de dedans en dehors, et destinées à donner issue à l'air dilaté et aux produits gazeux de l'explosion de la poudre.

(1) *Réflexions sur quelques machines à élever les eaux, avec la description d'une nouvelle pompe sans frottement et sans piston, adressées par M. de Hautefeuille à madame la duchesse de Bouillon*, p. 9.

« On met, dit Huygens, dans la boîte H un peu de poudre à canon avec un petit bout de mèche d'Allemagne allumée, et l'on serre bien cette boîte par le moyen de sa vis. La poudre, venant un moment après à s'allumer, remplit le cylindre de flamme et en chasse l'air par les tuyaux de cuir D, D qui s'étendent et qui sont aussitôt refermés par l'air du dehors; de sorte que le cylindre demeure vide d'air, ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston B est forcé, par la pression de l'air qui pèse dessus, à descendre, et il tire ainsi la corde FF, et ce à quoi on l'a voulu attacher. La quantité de cette pression est connue et déterminée par la .pesanteur de l'air et par la grandeur du diamètre du piston, qui, étant d'un pied, sera pressé autant que s'il portait le poids d'environ 1,800 livres, supposé que le cylindre fût tout à fait vide d'air (1). »

Papin connaissait depuis longtemps cette machine, car il avait, comme nous l'avons dit, secondé Huygens dans sa construction, pendant qu'il logeait avec lui à la Bibliothèque du roi. Mais il avait reconnu dans ses dispositions divers inconvénients, et il voulait seulement, dans la construction nouvelle qu'il proposait, en perfectionner le mécanisme. Les changements qu'il apportait à l'appareil de Huygens ont d'ailleurs trop peu d'importance pour les signaler ici.

Cependant il était facile de deviner que les effets mécaniques provoqués par ce moyen ne présenteraient qu'une puissance médiocre, parce qu'il était impossible, par la seule détonation de la poudre, de chasser entièrement l'air contenu dans le cylindre. En outre, comme le démontra le physicien anglais Robert Hooke, l'air, en raison de sa compressibilité, pouvait rester en partie dans le tube; par suite de cette circonstance, si le tube présentait une certaine longueur, le mouvement du piston devenait presque insensible. C'est en vain que Papin essaya, pour parer à cet

(1) *Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air*, par Huygens de Zulichem (*Divers ouvrages de mathématiques et de physique*, par Messieurs de la Société royale des sciences, p. 320).

inconvénient capital, de faire également le vide dans le tube; l'expérience montra qu'il restait toujours dans l'appareil assez d'air pour annuler la plus grande partie des effets de la pression extérieure.

C'est alors que Papin, réfléchissant sur les agents qu'il serait permis d'employer pour remplacer la poudre à canon comme moyen de faire le vide dans un corps de pompe, eut l'idée hardie et profondément nouvelle d'employer la vapeur d'eau à cet usage. Dans l'histoire de la machine à vapeur, on ne peut accorder à Papin autre chose que l'idée d'employer la vapeur d'eau comme moyen de faire le vide ; mais cette pensée, véritable inspiration du génie, suffit à l'immortaliser ; elle honorera à jamais son nom, son siècle et sa patrie (1).

Le mémoire dans lequel Papin propose pour la première fois l'emploi d'une machine ayant pour principe moteur la force élastique de la vapeur d'eau, fut publié en latin dans les *Actes de Leipsick*, au mois d'août 1690, sous ce titre : *Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas.* (*Nouvelle Méthode pour obtenir à bas prix des*

(1) Bien qu'il soit difficile de remonter par la pensée la suite d'idées qui amènent un homme de génie à la réalisation d'une grande découverte, il ne nous semble pas impossible de déterminer comment Papin fut conduit à reconnaître ce fait fondamental, que la condensation de la vapeur d'eau donne le moyen d'opérer le vide dans un espace fermé. Si nous ne nous trompons, il puisa cette idée dans une expérience faite en 1660 par Robert Boyle. Le physicien irlandais avait reconnu qu'en plongeant dans l'eau froide un éolipyle ou un tube de verre rempli de vapeurs, l'eau s'y élevait aussitôt et remplissait l'éolipyle comme par succion. Boyle, qui conservait encore les anciennes idées sur la transformation de l'eau en air par la chaleur, et qui parle ailleurs des moyens d'engendrer l'air artificiellement, ne put se rendre un compte exact de ce phénomène. Mais trente ans après, Papin, plus familiarisé avec l'usage et les propriétés de la vapeur, en reconnut la véritable nature, et il y trouva le moyen de faire le vide à volonté dans un espace clos. (Voyez le passage original dans l'ouvrage de Boyle : *New experiments physico-mechanical touching the spring of the air and its effects,* p. 31-36. Oxford, 1660.)

forces motrices considérables). Papin commence par rappeler les essais infructueux qu'il a faits antérieurement pour perfectionner la machine à poudre.

« Jusqu'à ce moment, dit-il, toutes ces tentatives ont été inutiles, et après l'extinction de la poudre enflammée il est toujours resté dans le cylindre environ la cinquième partie de l'air. J'ai donc essayé de parvenir, par une autre route, au même résultat; et comme, par une propriété qui est naturelle à l'eau, une petite quantité de ce liquide, réduite en vapeurs par l'action de la chaleur, acquiert une force élastique semblable à celle de l'air et revient ensuite à l'état liquide par le refroidissement, sans conserver la moindre apparence de sa force élastique, j'ai cru qu'il serait facile de construire des machines où l'air, par le moyen d'une chaleur modérée, et sans frais considérables, produirait le vide parfait que l'on ne pouvait pas obtenir à l'aide de la poudre à canon. »

La figure suivante fera comprendre les éléments de la machine que Papin proposa pour utiliser les effets mécaniques de la vapeur d'eau.

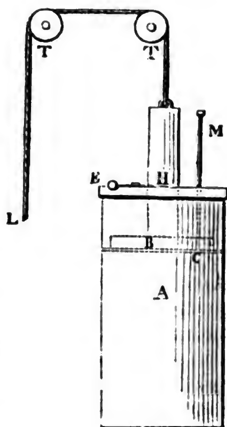


Fig. 5.

A est un cylindre de cuivre fermé par le bas, ouvert par le haut et contenant un peu d'eau à sa partie inférieure. Ce cylindre est parcouru par un piston mobile B. Un orifice C traverse ce piston et a pour effet de permettre de l'abaisser jusqu'à ce que sa face inférieure touche l'eau, en donnant issue à l'air qui existe au-dessous de lui. Quand on a ainsi chassé l'air du cylindre, on bouche cet orifice C avec la tige M; on échauffe ensuite le bas du cylindre à l'aide d'un brasier. L'eau arrive à l'ébullition, et la vapeur acquiert assez de puissance pour

soulever le piston et le pousser jusqu'au haut de sa course. Cet effet obtenu, on pousse le cliquet E, qui, s'enfonçant dans une rainure de la tige H, arrête et maintient le piston dans cette position. On éloigne alors le brasier, le cylindre se refroidit, la vapeur se condense, le vide se fait par conséquent au-dessous du piston. Si alors on retire le cliquet E, le piston, pressé par tout le poids de l'atmosphère extérieure, se précipite aussitôt au fond du cylindre et peut ainsi servir à élever des poids que l'on aurait attachés à l'extrémité de la corde TL, fixée à la tige du piston et s'enroulant sur deux poulies.

Mais le lecteur est sans doute désireux d'avoir connaissance du mémoire entier dans lequel Denis Papin a consigné ses idées. Nous allons donc mettre sous ses yeux la traduction de son mémoire original qui parut au mois d'août 1690 dans les *Actes des érudits de Leipsick*, sous ce titre : *Nouvelle Méthode pour obtenir à bas prix des forces considérables*.

« Dans la machine destinée au nouvel usage que l'on voulait faire de la poudre à canon, et dont la description se trouve dans les *Actes des érudits* du mois de septembre 1688, on désirait surtout, dit Papin, que la poudre allumée dans la partie inférieure du tube remplît de flamme sa capacité entière, pour que l'air en fût complétement chassé, et que le tube placé au-dessous du piston restât tout à fait vide d'air. On a dit alors que le résultat n'avait pas été satisfaisant, et que, malgré toutes les précautions dont on a parlé, il était toujours resté dans le tube environ la cinquième partie de l'air qu'il peut contenir. De là deux inconvénients : 1° on n'obtient que la moitié de l'effet désiré, et l'on n'élève à la hauteur d'un pied qu'un poids de 150 livres, au lieu de 300 qui auraient dû être élevées si le tube avait été parfaitement vide ; 2° à mesure que le piston descend, la force qui le presse du haut en bas diminue graduellement, comme on l'a observé au même endroit. Il est donc indispensable que nous tentions, par un moyen quelconque, de diminuer la résistance dans la même proportion que la force motrice diminue elle-

même, pour que cette force motrice la surpasse jusqu'à la fin. C'est ainsi que dans les horloges portatives (les montres) on ménage avec art la force inégale du ressort qui meut tout le système, afin que pendant tout le temps il puisse vaincre, avec une égale facilité, la résistance des roues. Mais il serait bien plus commode encore d'avoir une force motrice toujours égale depuis le commencement jusqu'à la fin. On a donc fait dans ce but quelques essais pour obtenir un vide parfait à l'aide de la poudre à canon; car par ce moyen, comme il n'y aurait plus d'air pour résister au piston, toute la colonne atmosphérique supérieure pousserait ce piston jusqu'au fond du tube avec une force uniforme. Mais jusqu'à ce moment toutes les tentatives ont été infructueuses, et après l'extinction de la poudre enflammée il est toujours resté dans le tube environ la cinquième partie de l'air. J'ai donc essayé de parvenir par une autre route au même résultat, et comme, par une propriété qui est naturelle à l'eau, une petite quantité de ce liquide, réduite en vapeur par l'action de la chaleur, acquiert une force élastique semblable à celle de l'air, et revient ensuite à l'état liquide par le refroidissement, sans conserver la moindre apparence de sa force élastique, j'ai été porté à croire que l'on pourrait construire des machines où l'eau, par le moyen d'une chaleur modérée, et sans frais considérables, produirait le vide parfait que l'on ne pouvait pas obtenir à l'aide de la poudre à canon. Parmi les différentes constructions que l'on peut imaginer à cet effet, voici celle qui m'a paru la plus commode (1).

« A est un tube d'un diamètre partout égal, exactement fermé dans sa partie inférieure; B est un piston adapté à ce tube; H un manche, ou tige, fixé au piston; EH une verge de fer qui se meut horizontalement autour de son axe : un ressort presse la verge de fer EH, de manière à la pousser nécessairement dans l'ouverture H aussitôt que le piston et sa tige sont élevés à une hauteur telle que l'ouverture soit au-dessus du couvercle; C est un petit trou pratiqué dans le piston, par lequel l'eau peut sortir du fond du tube A lorsqu'on enfonce, pour la première fois, le piston dans ce tube.

« Voici quel est l'usage de cet instrument : on verse dans le tube A une petite quantité d'eau, à la hauteur de trois ou quatre lignes, puis on introduit le piston, et on le pousse jusqu'au fond

(1) Voyez figure 5, page 81.

jusqu'à ce qu'une partie de l'eau versée sorte par le trou C ; alors ce trou est fortement bouché par la verge M ; on place ensuite le couvercle où sont pratiquées les ouvertures nécessaires. Au moyen d'un feu modéré, le tube A, qui est en métal très-mince, s'échauffe bientôt, et l'eau changée en vapeur exerce une pression assez forte pour vaincre le poids de l'atmosphère, et pousser en haut le piston B jusqu'au moment où le trou H de la tige du piston s'élève au-dessus du couvercle; alors on entend le bruit de la verge EH, poussée dans l'ouverture H par le ressort. Il faut, dans ce moment, ôter aussitôt le feu, et les vapeurs renfermées dans le tube à minces parois se résolvent bientôt en eau par l'action du froid, et laissent le tube parfaitement vide d'air. On retire ensuite la verge EH de l'ouverture H, ce qui permet à la tige de redescendre; aussitôt le piston B éprouve la pression de tout le poids de l'atmosphère, qui produit avec d'autant plus de force ce mouvement désiré que le diamètre du tube est plus grand. On ne peut douter que le poids de la colonne atmosphérique ne soit mis tout entier à profit dans des tubes de cette espèce. J'ai reconnu, par expérience, que le piston élevé par la chaleur au haut du tube redescendait peu après jusqu'au fond, et cela à plusieurs reprises, en sorte que l'on ne peut supposer l'existence de la plus petite quantité d'air qui resterait dans le fond du tube; or mon tube, dont le diamètre n'excède pas deux doigts, élève cependant un poids de 60 livres avec la même vitesse que le piston descend dans le tube, et le tube lui-même pèse à peine 5 onces. Je suis donc convaincu qu'on pourrait faire des tubes pesant au plus 40 livres chacun, et qui cependant pourraient à chaque mouvement élever à 4 pieds de haut un poids de 2000 livres. J'ai éprouvé, d'ailleurs, que l'espace d'une minute suffit pour qu'avec un feu modéré le piston soit porté jusqu'au haut de mon tube; et comme le feu doit être proportionné au diamètre des tubes, de très-grands tubes pourraient être échauffés presque aussi vite que des petits : on voit clairement par là quelles immenses forces motrices on peut obtenir au moyen d'un procédé si simple, et à quel bas prix. On sait en effet que la colonne d'air pesant sur un tube de 1 pied de diamètre égale à peu près 2000 livres; que si le diamètre est de 2 pieds, ce poids sera environ de 8000 livres, et que la pression augmentera, ainsi de suite, en raison des diamètres. Il suit de là que le feu d'un fourneau qui aurait un peu plus de 2 pieds de diamètre suffirait pour élever à chaque minute 8000 livres pesant à une hauteur de

4 pieds, si l'on avait plusieurs tubes de cette hauteur, car le feu, renfermé dans un fourneau de fer un peu mince, pourrait être facilement transporté d'un tube à un autre; et ainsi le même feu procurerait continuellement, soit dans l'un, soit dans l'autre tube, ce vide dont les effets sont si puissants. Si l'on calcule maintenant la grandeur des forces que l'on peut obtenir par ce moyen, la modicité des frais nécessaires pour acquérir une quantité de bois suffisante, on avouera sans doute que notre méthode est de beaucoup supérieure à l'usage de la poudre à canon, dont on a parlé plus haut, surtout puisqu'on obtient ainsi un vide parfait, et qu'on obvie aux inconvénients que nous avons énumérés.

« Comment peut-on employer cette force pour tirer hors des mines l'eau et le minerai, pour lancer des globes de fer à de grandes distances, pour naviguer contre le vent et pour faire beaucoup d'autres applications ? C'est ce qu'il serait beaucoup trop long d'examiner. Mais chacun, dans l'occasion, doit imaginer un système de machines approprié au but qu'il se propose. Je dirai cependant ici en passant sous combien de rapports une force motrice de cette nature serait préférable à l'emploi des rameurs ordinaires pour imprimer le mouvement aux vaisseaux : 1° les rameurs ordinaires surchargent le vaisseau de tout leur poids, et le rendent moins propre au mouvement; 2° ils occupent un grand espace, et par conséquent embarrassent beaucoup sur le vaisseau; 3° on ne peut pas toujours trouver le nombre d'hommes nécessaire; 4° les rameurs, soit qu'ils travaillent en mer, soit qu'ils se reposent dans le port, doivent toujours être nourris, ce qui n'est pas une petite augmentation de dépense. Nos tubes, au contraire, ne chargeraient, comme on l'a dit, le vaisseau que d'un poids très-faible; ils occuperaient peu de place; on pourrait se les procurer en quantité suffisante s'il existait une fois une fabrique pour les confectionner; et enfin ces tubes ne consumeraient du bois qu'au moment de l'action, et n'entraîneraient aucune dépense dans le port. Mais comme des rames ordinaires seraient mues moins commodément par des tubes de cette espèce, il faudrait employer des roues à rames telles que je me souviens d'en avoir vu dans la machine construite à Londres par l'ordre du sérénissime prince palatin Rupert. Elle était mise en mouvement par des chevaux à l'aide de rames de cette espèce, et laissait de bien loin derrière elle la chaloupe royale, qui avait cependant seize rameurs. Il n'est pas douteux que nos tubes pus-

sent imprimer un mouvement de rotation à des rames fixées à un axe, si les tiges des pistons étaient armées de dents qui s'engrèneraient nécessairement dans des roues également dentées et fixées à l'axe des rames. Il serait nécessaire que l'on adaptât trois ou quatre tubes au même axe, pour que son mouvement pût continuer sans interruption. En effet, tandis qu'un piston toucherait au fond de son tube, et ne pourrait plus, par conséquent, faire tourner l'axe avant que la force de la vapeur l'eût élevé au sommet du tube, on pourrait, au moment même, éloigner l'arrêt d'un autre piston qui, en descendant, continuerait le mouvement de l'axe. Un autre piston serait ensuite poussé de la même manière et exercerait sa force motrice sur le même axe, tandis que les pistons, abaissés en premier lieu, seraient de nouveau élevés par la chaleur, et se retrouveraient ainsi en état de mouvoir le même axe de la manière précédemment décrite. D'ailleurs, un seul fourneau et un peu de feu suffiraient pour élever successivement tous les pistons.

Mais on objectera peut-être que les dents des tiges engrenées dans les dents des roues exerceront sur l'axe des actions en sens inverse quand elles descendront et quand elles remonteront, et qu'ainsi les pistons montants contrarieront le mouvement des pistons descendants, et réciproquement. Cette objection est sans force. Tous les mécaniciens connaissent parfaitement un moyen par lequel on fixe à un axe des roues dentées qui, mues dans un sens, entraînent l'axe avec elles, et qui, dans l'autre sens, ne communiquent aucun mouvement, et le laissent obéir librement à la rotation opposée. La principale difficulté est donc d'avoir une fabrique où l'on forge facilement ces grands tubes, comme on l'a dit en détail dans les *Actes des érudits*, du mois de septembre 1688. Et cette nouvelle machine doit être un nouveau motif pour accélérer cet établissement; car elle démontre clairement que ces grands tubes pourraient être appliqués très-commodément à plusieurs usages importants. »

Comme on vient de le voir par la lecture de ce document si remarquable, Papin présentait son appareil comme susceptible de recevoir dans l'industrie une application immédiate. En cela il tombait dans l'erreur commune des inventeurs, qui n'hésitent pas à considérer la première suggestion de leur esprit comme le dernier mot de la science et de

l'art. On ne peut, en effet, voir dans la machine du physicien de Blois qu'un moyen de démontrer, par l'expérience, le principe de la force élastique de la vapeur, et du parti que l'on peut en tirer comme force motrice. Quant à l'appliquer, telle qu'elle était conçue, aux usages de l'industrie, il était impossible d'y songer. Cette disposition grossière, qui consistait à placer une légère couche d'eau dans le cylindre lui-même et à produire la vapeur à l'aide d'un brasier placé par-dessous, de telle sorte que l'appareil n'était alimenté que par cette petite quantité d'eau qui ne se renouvelait jamais ; le moyen plus vicieux encore qui faisait dépendre la chute du piston du refroidissement spontané de la vapeur, par suite du simple éloignement du brasier ; ces tubes de métal mince, que l'action du feu aurait rapidement détruits et incapables de résister efficacement à la pression intérieure exercée sur leurs parois ; l'absence d'un moyen propre à prévenir les explosions : tout nous montre que cet appareil ne présentait aucune des conditions que l'on voit communément réalisées dans la plus imparfaite des machines industrielles.

Cette erreur devait durement peser sur la destinée de Papin. Les défauts de sa machine étaient d'une évidence à frapper tous les yeux ; aussi fut-elle accueillie avec une désapprobation marquée, et placée d'un accord unanime au rang des appareils imparfaits qu'il avait antérieurement fait connaître. Sa grande conception concernant l'emploi de la vapeur fut enveloppée dans la même défaveur qui avait accueilli sa machine à double pompe pneumatique et sa machine à poudre. Aucun recueil scientifique ne produisit le mémoire publié dans les *Actes de Leipsick;* le physicien Hooke se borna à faire ressortir, dans quelques notes lues à la Société royale de Londres, les inconvénients de la nouvelle machine motrice proposée par le docteur Papin, et tout fut dit.

L'indifférence que rencontra sa découverte eut pour lui

une conséquence funeste. En présence du peu de succès de ses idées, il se prit à douter de lui-même ; il crut avoir fait fausse route, et abandonna entièrement le projet de sa machine à vapeur. Il y avait cependant bien peu de modifications à apporter à sa construction primitive pour la rendre applicable à l'industrie. L'emploi d'une chaudière servant à amener la vapeur dans l'intérieur du cylindre, et le refroidissement de la vapeur provoqué par une aspersion d'eau froide, auraient suffi pour en faire le moteur le plus puissant que l'industrie eût possédé jusqu'à cette époque. Par malheur, les critiques qu'il rencontra découragèrent Papin, qui cessa entièrement de s'occuper de ce sujet, et lorsque quinze ans après il essaya d'y revenir, il fut conduit à proposer un appareil tout différent du premier, et dans lequel, abandonnant la grande idée dont l'honneur lui revient, il avait recours à des dispositions vicieuses.

Dans un voyage qu'il avait fait en Angleterre, en 1705, Leibnitz avait vu fonctionner la machine à vapeur de Savery, première application pratique de la puissance motrice de la vapeur d'eau. Leibnitz envoya à Papin le dessin de cette machine, afin de connaître son opinion sur l'appareil du mécanicien anglais, et celui-ci montra la lettre et le dessin à l'électeur de Hesse. C'est à l'instigation de ce prince que Papin reprit l'examen de ce sujet qu'il avait abandonné depuis quinze ans. Le résultat de son travail fut la publication d'un petit livre imprimé à Francfort en 1707, sous le titre de *Nouvelle Manière pour élever l'eau par la force du feu*. La nouvelle machine à vapeur que Papin décrit dans ce mémoire n'est autre chose, bien qu'il essaye de s'en défendre, qu'une imitation de la machine de Savery, inférieure encore sous tous les rapports à celle de son rival. Il propose d'employer la force élastique de la vapeur à élever de l'eau dans l'intérieur d'un tube ; cette eau est ainsi amenée dans un réservoir, d'où on la fait tomber sur les augets d'une

roue hydraulique à laquelle elle imprime un mouvement de rotation.

La figure suivante (fig. 6) fera comprendre tous les détails

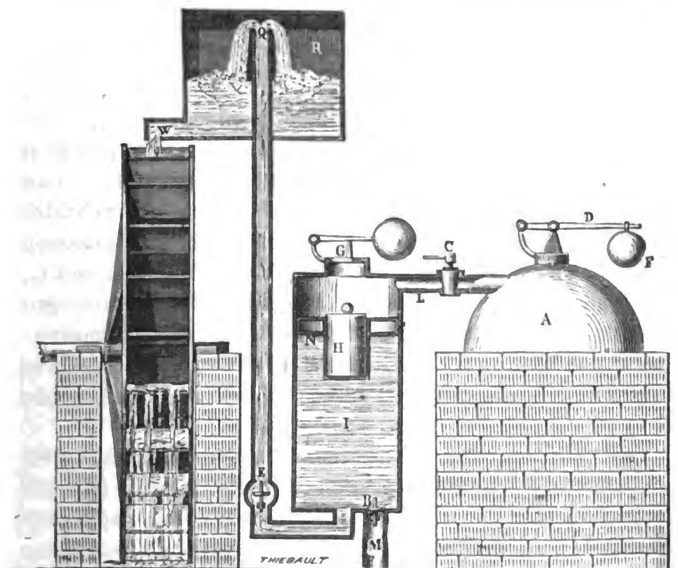


Fig. 6.

de la seconde machine à vapeur qui fut proposée par Denis Papin en 1707. Cette figure n'est pas la reproduction exacte d'un dessin mis par l'auteur en tête de son mémoire, mais elle représente avec clarté les éléments de sa machine. On remarquera que la chaudière et le corps de pompe sont munis de la soupape de sûreté. Ce n'est en effet que dans ce mémoire que Papin fait connaître l'application de la soupape qu'il avait imaginée vingt-sept ans auparavant pour son *digesteur des viandes*.

Une chaudière A dirige sa vapeur, au moyen du tube L,

dans l'intérieur d'un cylindre I, qui doit alternativement se remplir et se vider d'eau. La vapeur vient presser la face supérieure du piston H, lequel est creux en partie, et peut de cette manière flotter à la surface de l'eau qui vient remplir le cylindre. Cette pression se transmet au liquide contenu dans ce cylindre ; refoulée par cette pression l'eau s'élève dans le tuyau EQ. Quand le cylindre I est vide, et le robinet C ayant été fermé de manière à empêcher l'introduction de la vapeur de la chaudière dans le cylindre, la pression de l'atmosphère extérieure fait élever dans cet espace l'eau qu'il s'agit d'élever, et qui communique avec le cylindre par le tuyau BM : la soupape B se soulève par cette pression et laisse rentrer l'eau. Dès lors, si l'on ouvre le robinet C, de nouvelles vapeurs arrivant de la chaudière provoquent l'ascension de cette eau dans le tube EQ et le même mouvement continue sans interruption, pourvu que l'on ouvre et ferme aux moments convenables le robinet C qui donne accès à la vapeur.

Tel qu'il vient d'être décrit, cet appareil ne pouvait servir qu'à l'unique objet de l'élévation des eaux. Pour en faire un moteur applicable à toute destination mécanique, Papin proposait de faire rendre l'eau ainsi élevée dans l'intérieur d'une caisse QR, fermée de toutes parts hormis au point W, où se trouvait une ouverture d'où l'eau retombait sur les augets d'une roue hydraulique. Sortant de la caisse R avec une vitesse qui était encore augmentée par la compression de l'air situé au-dessus, l'eau retombant sur la route hydraulique, la faisait tourner et pouvait ainsi remplir le rôle d'un moteur applicable à divers emplois.

Ainsi Papin abandonnait son idée capitale d'employer la vapeur comme moyen d'opérer le vide dans un cylindre, pour adopter le procédé bien moins avantageux qui consiste à se servir de la pression de la vapeur pour élever une colonne d'eau. Il ne faisait en cela que copier, avec quel-

ques modifications, la machine de Savery. C'est que cette machine, déjà en usage en Angleterre, avait obtenu un certain succès; Papin, égaré par l'apparence des résultats utiles qu'elle avait fournis, perdait ainsi de vue la grande conception qui perpétuera le souvenir de son génie.

On avait pensé jusqu'à ces derniers temps que les idées de Papin sur cette seconde machine à vapeur n'étaient jamais sorties du domaine de la théorie. Mais une correspondance de Papin avec Leibnitz, retrouvée en 1852 par M. Kuhlmann, professeur à l'université de Hanovre, a jeté un jour tout nouveau sur cette question. Il résulte de ces lettres, qu'après avoir fait construire le modèle de la machine précédente, Papin la fit exécuter en grand pour l'appliquer à un bateau qui fut essayé sur la Fulda. Mais des dissentiments ayant éclaté sur ces entrefaites entre lui et quelques personnages puissants de Marbourg, Papin prit la résolution de quitter l'Allemagne, et de faire transporter son bateau en Angleterre pour y continuer ses expériences. C'est ce que démontre suffisamment la curieuse et importante lettre de Papin à Leibnitz que nous mettons sous les yeux de nos lecteurs.

« Cassel, ce 7 juillet 1707.

« Monsieur,

« Vous savez qu'il y a longtemps que je me plains d'avoir ici beaucoup d'ennemis trop puissants. Je prenais pourtant patience; mais depuis peu j'ai éprouvé leur animosité de telle manière qu'il y aurait eu trop de témérité à moi à oser vouloir demeurer plus longtemps exposé à de tels dangers. Je suis persuadé pourtant que j'aurais obtenu justice si j'avais voulu faireun procès; mais je n'ai déjà fait perdre que trop de temps à Son Altesse pour mes petites affaires, et il vaut bien mieux céder et quitter la place que d'être trop souvent obligé d'importuner un si grand prince. Je lui ai donc présenté une requête pour le supplier très-humblement de m'accorder la permission de me retirer en Angleterre, et Son Altesse y a consenti avec des circonstances

qui font voir qu'elle a encore, comme elle a toujours eu, beaucoup plus de bonté pour moi que je ne mérite.

« Une des raisons que j'ai alléguées dans ma requête, c'est qu'il est important que ma nouvelle construction de bateau soit mise à l'épreuve dans un port de mer, comme Londres, où on pourra lui donner assez de profondeur pour y appliquer la nouvelle invention qui, par le moyen du feu, rendra un ou deux hommes capables de faire plus d'effet que plusieurs centaines de rameurs. En effet, mon dessein est de faire le voyage dans ce même bateau, dont j'ai déjà eu l'honneur de vous parler autrefois, et l'on verra d'abord que sur ce modèle il sera facile d'en faire d'autres où la machine à feu s'appliquera fort commodément. Mais il se trouve une difficulté, c'est que ce ne sont point les bateaux de Cassel qui vont à Brême, et quand les marchandises de Cassel sont arrivées à Münden, il faut les décharger pour les transporter dans les bateaux qui descendent à Brême. J'en ai été assuré par un batelier de Münden, qui m'a dit qu'il faut une permission expresse pour faire passer un bateau de la Fulda dans le Weser. Cela m'a fait résoudre, Monsieur, de prendre la liberté d'avoir recours à vous pour cela. Comme ceci est une affaire particulière et sans conséquence pour le négoce, je suis persuadé que vous aurez la bonté de me procurer ce qu'il faut pour faire passer mon bateau à Münden, vu surtout que vous m'avez déjà fait connaître combien vous espériez de la machine à feu pour les voitures par eau. On m'a aussi averti qu'à Hamel, il y a un courant extrêmement rapide, et qu'il s'y perd des bateaux. Cela me ferait souhaiter de savoir à peu près à combien de degrés ce canal est incliné sur l'horizon. Ainsi, Monsieur, si vous avez eu la curiosité de faire cette observation, je vous supplie d'avoir aussi la bonté de me dire ce qu'il en est. En tout cas, il vaudra toujours mieux prendre trop que pas assez de précautions pour garantir mon bateau de tout accident. Si j'étais assez heureux pour que vos affaires vous appelassent dans l'une ou l'autre des deux villes dans le temps que j'y passerai, je m'y ferais une extrême satisfaction d'y entendre et d'y profiter de vos bons avis en voyant notre bateau, et de vous supplier de bouche de me continuer la même bienveillance dont vous m'honorez depuis si longtemps, et de me permettre toujours de me dire avec respect, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur.

« D. PAPIN. »

Dès la réception de cette lettre, Leibnitz écrivit au conseiller intime de l'électeur de Hanovre, pour obtenir l'autorisation de faire passer le bateau de Papin des eaux de la Fulda dans celles du Weser. Mais cette autorisation fut refusée, ou du moins elle se fit attendre; car, dans une seconde lettre, datée du 1er août 1707, Papin se plaint des retards qu'éprouve sa demande. Pour mettre le temps à profit, il continua les essais de son bateau. La lettre suivante, adressée à Leibnitz et datée du 15 septembre, montre que les résultats qu'il obtenait étaient de nature à l'encourager.

« L'expérience de mon bateau a été faite et elle a réussi de la manière que je l'espérais; la force du courant de la rivière était si peu de chose en comparaison de la force de mes rames, qu'on avait de la peine à reconnaître qu'il allât plus vite en descendant qu'en montant. Monseigneur eut la bonté de me témoigner la satisfaction d'avoir vu un si bon effet, et je suis persuadé que si Dieu me fait la grâce d'arriver heureusement à Londres, et d'y faire des vaisseaux de cette construction qui aient assez de profondeur pour appliquer la machine à feu à donner le mouvement aux rames, je suis persuadé, dis-je, que nous pourrons produire des effets qui paraîtront incroyables à ceux qui ne les auront pas vus. »

Mais il n'était pas dans sa destinée de voir ce grand projet s'accomplir. La lettre que nous venons de citer contient le *post-scriptum* suivant, indice précurseur du mécompte qui l'attendait.

« Je viens de recevoir une lettre de Münden, d'une personne qui a parlé au bailli pour la permission de passer mon bateau dans le Weser. Elle a eu pour réponse que c'est une chose impossible; que les bateliers ne le veulent plus, parce qu'ils ont payé une amende de cent écus, et que la permission de Son Altesse électorale est nécessaire pour cela. Il est vrai que quelques bateliers m'ont dit le contraire, mais d'autres aussi ont dit qu'il fallait une permission de Son Altesse. Je ne puis croire que ceux qui m'ont dit le contraire aient voulu me tromper. Enfin,

je me vois en grand danger qu'après tant de peines et de dépenses qui m'ont été causées par ce bateau, il faudra que je l'abandonne, et que le public soit privé des avantages que j'aurais pu, Dieu aidant, lui procurer par ce moyen. Je m'en consolerai pourtant, voyant qu'il n'y a point de ma faute, car je ne pouvais jamais imaginer qu'un dessein comme celui-là dût échouer faute de permission. »

Il était en effet trop pénible de penser qu'un projet qui avait coûté toute une vie de travaux pût échouer devant un si misérable obstacle. C'est là cependant le triste dénoûment que sa mauvaise étoile réservait aux efforts de Papin.

Ne recevant pas la permission qu'il avait demandée à l'électeur de Hanovre pour entrer dans les eaux du Weser, Papin crut pouvoir passer outre. Le 25 septembre 1707, il s'embarqua à Cassel sur la Fulda, et arriva à Münden le même jour. Münden, ville de Hanovre, est située au confluent de la Fulda et de la Wera, qui se réunissent en ce point pour former le Weser. Papin comptait continuer sa route sur ce fleuve, et arriver ainsi à Brême, près de l'embouchure du Weser dans la mer du Nord, où il se serait embarqué sur un vaisseau qui l'aurait conduit à Londres en remorquant son petit bateau. Mais les mariniers lui refusèrent l'entrée du Weser, et comme il insistait, sans doute, et réclamait avec force contre un procédé si rigoureux, ils mirent sa machine en pièces. Quelque étonnant qu'il nous paraisse, ce fait est prouvé par le curieux document que l'on va lire. C'est une lettre adressée à Leibnitz par le bailli de Münden. Le bailli, honteux sans doute de la fâcheuse aventure arrivée au protégé du puissant Leibnitz, essaye de s'en excuser, et de se prémunir d'avance contre les plaintes du vieillard qu'il a laissé si inhumainement traiter. Cette lettre, rapportée par M. Kuhlmann, est écrite en français ; nous la citons textuellement :

« MUNDEN, ce 27 septembre 1707.

« MONSIEUR,

« Ayant appris par le médecin Papin, qui venant de Cassel, passa avant-hier par cette ville, que vous trouvez présentement en cette cour-là, je me donne l'honneur de vous avertir, Monsieur, que ce pauvre homme de médecin qui m'a montré votre lettre de recommandation pour Londres, a eu le malheur de perdre sa petite machine d'un vaisseau à roues que vous avez vue; les bateliers de cette ville ayant eu l'insolence de l'arrêter et de le priver du fruit de ses peines, par lesquelles il pensait s'introduire auprès de la reine d'Angleterre. Comme l'on ne m'avertit de cette violence qu'après que le bonhomme fut parti, et qu'il ne s'était point adressé à nous, mais au magistrat de la ville pour s'en plaindre, quoique cette affaire fût de ma juridiction; vous voyez, Monsieur, qu'il n'était pas en mon pouvoir d'y remédier. C'est pourquoi je prends la liberté de vous informer de ce fait, en cas que si cet homme ne voulût faire des plaintes à Hanovre et à Cassel, vous soyez persuadé de la vérité et de la brutalité de ces gens-ci. Si, en repassant à Hanovre, je puis avoir l'honneur de vous voir, Monsieur, je me donnerai celui de vous assurer moi-même de la passion constante avec laquelle je suis, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur.

« ZEUNER. »

Le même fait est confirmé par une lettre, datée du 20 octobre 1707, adressée à Leibnitz par un certain Hattenbach, et qui contient ces deux lignes : « Le pauvre Papin a été « obligé de laisser son bateau à Münden, n'ayant jamais « pu obtenir de l'amener. »

On est saisi d'un profond sentiment de compassion quand on se représente l'infortuné vieillard, privé des moyens sur lesquels il avait fondé toutes ses espérances, sans ressources et presque sans asile, et ne sachant plus en quel coin de l'Europe il irait cacher ses derniers jours. Il n'osait revenir sur ses pas et rentrer à Marbourg, dans cette université qu'il avait volontairement abandonnée. D'un autre côté, il ne pouvait songer à la France; plus que jamais l'accès de sa patrie

lui était fermé, car l'intolérance religieuse, dont les excès ont déshonoré les dernières années du règne de Louis XIV, continuait à y déployer ses fureurs. Mais l'Angleterre avait été pour lui une autre patrie; c'est là que la fortune avait souri un moment aux efforts de sa jeunesse. Les encouragements et l'appui qu'il avait rencontrés auprès de l'illustre Robert Boyle, les relations qu'il avait formées avec les membres de la Société royale, vivaient au nombre des plus doux souvenirs de son cœur; il prit la résolution de continuer sa route vers l'Angleterre, il voulut mourir sur le sol hospitalier où avaient fleuri les quelques jours heureux de son existence. Faible et malade, il s'achemina tristement vers ce dernier asile de sa vieillesse. Mais dans le long intervalle de son absence, ses amis avaient eu le temps de l'oublier. Robert Boyle était mort, et le nom de Papin était presque inconnu des nouveaux membres de la compagnie. Pour subvenir à ses besoins, il fut contraint de se remettre à la solde de la Société royale. Le grand inventeur dont notre siècle glorifie la mémoire se trouva dès ce moment, et jusqu'aux derniers jours de sa vie, réduit à un état voisin de la misère. Il fut contraint, faute de ressources suffisantes, de renoncer à poursuivre les expériences de son bateau à vapeur. « Je « suis maintenant obligé, dit-il dans une de ses lettres, de « mettre mes machines dans le coin de ma pauvre chemi- « née. » En effet, cette ardeur d'invention et de recherches, qui avait été comme l'aliment de son existence, persistait encore dans l'âme du noble vieillard; c'était le dernier lien qui le rattachait à la vie. Il était sans cesse occupé à combiner de nouvelles machines, pour l'exécution desquelles il réclamait, trop souvent en vain, les secours de la Société royale. Le secrétaire de la Société, M. Sloane, lui avait demandé compte d'une petite somme qu'on lui avait remise, et Papin lui écrivit pour indiquer l'emploi que cet argent avait reçu :

« Puisque vous désirez, très-honoré Monsieur, un compte rendu de ce que j'ai fait pour la Société royale depuis que j'ai reçu quelque argent, afin que vous puissiez mieux juger ce qu'il est convenable de me donner maintenant, j'ai déposé sur ce papier ce que j'estime le plus important. Mais, avant tout, je dois vous prier de vous souvenir que vous devez vous mettre à ma place sans restriction, afin que je sois payé selon ce que j'ai mérité, et ayant déjà dans la tête plus de travail de cette nature que je n'en pourrai faire dans le reste de ma vie, j'ai résolu de négliger tous les autres moyens de pourvoir à ma subsistance, étant persuadé qu'il ne peut y avoir de meilleure occupation que de travailler pour la Société royale, puisque c'est la même chose que de travailler pour le bien public. Je vous en prie, Monsieur, permettez-moi d'ajouter ici que, dans l'Académie royale de Paris, il y a trois pensionnaires pour la mécanique qui ont chacun un très-bon salaire annuel, et, en outre, qu'il y a d'habiles ouvriers de toutes sortes, payés par le roi, qui sont prêts en tout temps à exécuter tout ce que ces pensionnaires commandent. Prenez, s'il vous plaît, les Mémoires de l'Académie royale des sciences, et voyez ce que ces trois pensionnaires font chaque année, et comparez-le avec ce que j'ai fait depuis sept mois; j'espère que vous trouverez que j'ai raison de dire que j'ai fait autant qu'on peut attendre du plus honnête homme avec ma petite capacité et ma pénurie d'argent (1). »

Il est triste de voir le pauvre proscrit contraint d'invoquer des secours étrangers pour perfectionner les inventions utiles qui ne cessaient d'occuper les loisirs de ses derniers jours.

« Je propose humblement à la Société royale, écrivait-il le 10 mai 1709, de faire un nouveau fourneau qui épargnera plus de la moitié des combustibles. Je ne puis encore dire précisément combien ; mais il est certain que l'économie sera si considérable qu'elle fera plus que compenser la dépense nécessaire pour l'acquérir... Je désire humblement que la Société royale me donne 250 francs, et après cela il sera facile d'essayer une

(1) *Lettres inédites de Papin*, publiées par M. Bunsen, professeur de physique à Marbourg.

chose qui peut être utile à la respiration, la végétation, la cuisine, etc. »

On lit encore dans une lettre adressée à M. Sloane :

« Certainement, Monsieur, je suis dans une triste position, puisque, même en faisant bien, je soulève des ennemis contre moi ; cependant, malgré tout cela, je ne crains rien, parce que je me confie au Dieu tout-puissant. »

La pauvreté et l'abandon dans lesquels le malheureux philosophe traîna le poids de ses derniers jours devaient lui être d'autant plus douloureux qu'il était chargé de famille. C'est ce qui semble résulter d'une réponse qu'il adressa au comte de Sintzendorff, lorsque ce gentilhomme l'invitait à aller visiter, en Bohême, une de ses mines abandonnée à cause de l'envahissement des eaux.

« Je souhaiterais extrêmement, dit-il, de témoigner à Votre Excellence l'ardeur de mon zèle à lui rendre mes très-humbles services, n'était que les pays que nous voyons ruinés dans notre voisinage, et l'incertitude des événements de la guerre, m'avertissent que je ne dois pas abandonner ma famille de si loin dans un temps comme celui-ci (1). »

C'est par erreur que l'on fixe ordinairement à l'année 1710 l'époque de la mort de Papin. Il vivait encore en 1714, s'il faut s'en rapporter à une dernière lettre de Leibnitz, où il est question de lui. Cette lettre est sans date, mais la mention qui s'y trouve faite du récent avénement de George Ier au trône d'Angleterre, et de la loi anglaise intitulée l'*Acte de succession*, en fixe l'époque vers l'année 1714.

(1) *Lettre touchant la manière de tirer l'eau des mines avec peu de peine, quand même les rivières sont trop éloignées pour y servir. A Son Excellence monseigneur le comte de Sintzendorff* (*Recueil de pièces diverses touchant quelques nouvelles machines, par le docteur Papin*, imprimé à Cassel, par Jacob Étienne, 1695).

« Il y avait dans votre cour, écrit Leibnitz, un savant mathématicien et machiniste français, nommé Papin, avec lequel j'échangeai des lettres de temps en temps. Mais il alla en Hollande, et peut-être plus loin, l'année passée. Je souhaite d'apprendre s'il est revenu ou s'il a quitté le service, et s'est transporté en Angleterre, comme il en avait le dessein... — Y a-t-il donc longtemps que M. Papin est de retour chez vous? J'avais pensé qu'il eût tout à fait quitté, car je le trouvais un peu chancelant; et encore à présent sa lettre me paraît être de ce caractère, quoiqu'elle soit extrêmement générale. Il a un mérite qui certainement n'est pas ordinaire; vous le trouverez, Monsieur, en le pratiquant; et ce ne serait peut-être pas mal de le faire, pour voir un peu à quoi il s'occupe, car il ne m'en dit mot. »

C'est là d'ailleurs le seul document qui permette d'éclairer les derniers temps de la vie de Papin. On ne peut préciser l'époque où il acheva de mourir. Il languit sans doute quelques années encore dans l'isolement et la pauvreté, et il est douloureux de penser que le besoin a pu abréger le terme de sa triste existence. Quelques personnes ont voulu expliquer le mystère qui couvre les derniers temps de sa vie, par son secret retour aux bords de la Loire, où il voulut mourir. Ainsi il ne nous est même pas donné de connaître le coin de terre où reposent les cendres de ce grand homme infortuné.

Quand on jette un regard d'ensemble sur les travaux de Papin, on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'ils sont marqués au coin du génie. Cependant le mérite de notre compatriote a été contesté, et dans une notice sur la machine à vapeur, le docteur Robison n'a pas craint de dire : « Papin n'était ni physicien ni mécanicien (1). » La physique du XVIIe siècle se composait d'un trop petit nombre de principes pour qu'il soit permis de refuser à aucun savant de cette époque la connaissance des faits si simples qu'elle embrassait. De plus, quand on a eu la pensée de créer une

(1) « *He was neither philosopher nor mecanician.* » (*Philosophical Magazine*, 1822, t. II, p. 49.)

force motrice par la seule action de l'eau bouillante, on n'est pas seulement mécanicien, on est mécanicien de génie. Il est juste néanmoins de reconnaître que, dans ses travaux, Papin a souvent manqué d'esprit de suite. Il procédait par sauts et comme par boutades ; il découvrait des faits épars d'une haute importance, et ne savait pas trouver le lien propre à les rattacher en faisceau ; il établissait de grands principes, et se montrait inhabile à en déduire les conséquences même les plus rapprochées. C'est dans les premiers temps de sa vie scientifique, en s'occupant de l'insignifiant objet de la cuisson des viandes, qu'il invente la soupape de sûreté, et ce n'est qu'à la fin de sa carrière qu'il songe à l'appliquer à une machine dont les dispositions sont défectueuses. Pendant la construction d'un autre appareil imparfait, le moteur à double pompe pneumatique, il invente le robinet à quatre ouvertures, organe dont Leupold et James Watt ont tiré un si grand parti dans les machines à vapeur. Enfin il découvre le principe fondamental de l'emploi de la vapeur pour faire le vide et soulever un piston, et bientôt, détourné par la critique, il perd de vue sa découverte, et meurt sans soupçonner l'importance extraordinaire qu'elle doit acquérir un jour. Il y a là un vice d'esprit que l'on essayerait en vain de dissimuler.

Hâtons-nous de le dire, les circonstances de la vie de Papin expliquent ce défaut. Si son existence se fût écoulée calme et honorée dans sa patrie, s'il eût vécu entouré d'aides intelligents, de constructeurs et d'ouvriers, s'il eût goûté quelque temps les loisirs et la liberté d'esprit qui sont nécessaires à l'exécution des longs travaux scientifiques, on n'aurait pas à défendre sa mémoire contre de tels reproches ; la postérité, qui ne connaît qu'un coin de son génie, aurait alors possédé Papin tout entier. Mais éloigné dès sa jeunesse du ciel de sa patrie, obligé de promener à travers l'Europe le poids de ses ennuis et de sa pauvreté, contraint

de frapper de son bâton de voyage à la porte des Académies étrangères, le malheureux philosophe pouvait-il nous léguer autre chose que les ébauches de son génie? Si imparfaites qu'elles soient, elles suffisent à faire comprendre ce que l'on pouvait attendre de lui dans des conditions plus favorables. Pendant qu'il végétait oublié en Allemagne, un simple serrurier du Devonshire, dépourvu de toutes connaissances scientifiques, exécutait la première machine à vapeur atmosphérique en se bornant à rapprocher les découvertes éparses du mécanicien français. Papin n'eût-il pu suffire à la tâche accomplie par le serrurier Newcomen? Si donc la machine à vapeur n'est pas une invention exclusivement française, il ne faut l'attribuer qu'aux tristes circonstances qui, pendant quarante ans, fermèrent à Papin l'accès de sa patrie. Il y avait dans toutes les grandes villes de la France, et surtout dans celles des bords de la Loire, une nombreuse population de huguenots industrieux qui possédaient des capitaux immenses et concentraient dans leurs mains l'exploitation des principaux arts mécaniques. Ces hommes, qui devaient transporter l'industrie française au delà du Rhin et en Amérique, étaient tous ses amis; nul doute qu'ils ne lui eussent offert les ressources nécessaires pour perfectionner sa découverte, et qu'il n'eût trouvé dans le concours de ses compatriotes le moyen de doter son pays de l'honneur entier de cette invention impérissable. Ainsi la révocation de l'édit de Nantes ne fut pas seulement une offense aux lois éternelles de la morale et de la justice, elle n'eut pas uniquement pour effet l'exil d'un million d'hommes et le transport à l'étranger d'une grande partie de l'industrie nationale, elle devait encore priver la France de l'invention de la vapeur, c'est-à-dire de la découverte qui a le plus activement contribué aux progrès de la civilisation moderne.

CHAPITRE VI

Machine de Savery. — Newcomen et Cawley. — Machine à vapeur atmosphérique de Newcomen.

Papin vivait en Allemagne lorsqu'il publia la description de sa machine à vapeur atmosphérique; mais l'Allemagne accordait alors une trop faible part à l'industrie pour offrir un théâtre favorable au développement de ses idées. Ses projets ne pouvaient, à la même époque, trouver en France un accueil plus avantageux. Épuisée d'hommes et d'argent par trente années de guerre, la France voyait chaque jour dépérir son commerce; la révocation de l'édit de Nantes lui avait porté un coup irréparable, en la privant, suivant les termes du mémoire de d'Aguesseau, « dans toutes sortes « d'arts, des plus habiles ouvriers, ainsi que des plus riches « négociants, qui étaient de la religion réformée. » Mais l'Angleterre se trouvait dans des conditions toutes différentes. Depuis la restauration de la maison des Stuarts, le commerce et l'industrie y recevaient un développement chaque jour plus rapide; à l'ombre de la paix et d'une administration intelligente, cette grande nation commençait à tirer parti des richesses accumulées sous son sol. Les mines de houille, répandues en Angleterre avec une profusion extraordinaire, forment, comme on le sait, l'une des sources les plus importantes des revenus du pays; depuis plusieurs années, leur exploitation se poursuivait avec ardeur. Mais en raison des dispositions géologiques de la plupart des terrains houillers de la Grande-Bretagne, d'immenses courants d'eau viennent à chaque instant alterner avec les couches du minerai. Ces nappes d'eaux sou-

terraines apportaient les obstacles les plus graves à l'extraction du combustible, et la profondeur croissante des mines ajoutait de jour en jour à ces inconvénients et à ces dangers. Les moyens, souvent insuffisants, mis en usage pour l'épuisement des eaux, occasionnaient partout des dépenses énormes, et ces difficultés commençaient à éveiller les inquiétudes de la nation tout entière. L'annonce d'un moteur nouveau, puissant et économique, ne pouvait donc être accueillie avec indifférence au milieu d'un peuple qui voyait sa prospérité ou sa ruine suspendues à cette question.

Thomas Savery, ancien ouvrier des mines, devenu capitaine de marine et très-habile ingénieur, s'occupait depuis longtemps de l'étude des moyens mécaniques applicables au desséchement des houillères, lorsqu'il eut connaissance des travaux de Papin. Mais les idées de ce dernier étaient devenues en Angleterre l'objet de vives critiques; Robert Hooke, comme nous l'avons vu, avait fait ressortir tous les défauts de sa machine atmosphérique. Les attaques de Robert Hooke étaient d'ailleurs parfaitement justifiées par les grossières dispositions de l'appareil de Papin, considéré comme machine motrice : la nécessité d'approcher et de retirer le feu à chaque instant, l'action nuisible que la chaleur aurait exercée sur les parois extérieures du cylindre, la lenteur, presque ridicule, des mouvements du piston, qui ne pouvait fournir plus d'une oscillation par minute, étaient autant d'obstacles évidents à son application à l'industrie. Mais le critique anglais, égaré par ces objections de détail, méconnaissait la grande pensée de Papin, qui, en imaginant de faire le vide dans un cylindre par la condensation de la vapeur d'eau, dotait la mécanique de l'idée la plus grande et la plus neuve que l'histoire de cette science eût jamais enregistrée. L'argumentation et les reproches de Robert Hooke donnèrent le change à Thomas Savery. Au lieu de se borner à faire subir à la machine de Papin

quelques modifications très-simples qui auraient permis de la transporter immédiatement dans la pratique, il voulut construire une machine à vapeur fondée sur un principe tout différent. Laissant de côté le cylindre et le piston, il fabriqua un modèle de machine dans laquelle la vapeur agissait directement par sa pression pour élever l'eau dans l'intérieur d'un tube et la faire jaillir au dehors : Papin avait proposé un moteur universel, Savery proposait une machine applicable au seul objet de l'élévation des eaux.

C'est en 1698 que le capitaine Savery demanda un brevet lui assurant le privilége de la construction de sa machine à vapeur. Il la fit fonctionner la même année à Hamptoncourt, en présence du roi Guillaume, qui s'y intéressa vivement, et le 14 juin 1699, on en fit l'essai devant la Société royale. La machine de Savery reçut, à différentes époques, plusieurs perfectionnements de la part de l'inventeur ; les dernières modifications qu'il apporta à son appareil, et qui lui permirent de marcher avec régularité, furent consignées dans une brochure qui parut en 1702, sous le titre de l'*Ami du mineur* (*The miner's Friend*) (1).

La figure suivante présente les éléments essentiels de la machine de Savery. Voici le jeu de ses différentes pièces : la vapeur d'eau fournie par la chaudière B arrive, en traversant le tuyau D, dans l'intérieur du vase métallique S. Elle presse l'eau contenue dans ce vase, et par sa force élastique la refoule dans le tube A, en soulevant la soupape *a* qui s'ouvre de haut en bas, et fermant la soupape *b* qui se ferme de bas en haut ; l'eau jaillit ainsi par l'extrémité supérieure du tube A et s'écoule au dehors. Lorsque le vase S s'est vidé de cette manière, on ferme le robinet *c* pour intercepter la

(1) *L'Ami du mineur, ou Description d'une machine pour élever l'eau par le feu, et la manière de la placer dans les mines, avec un exposé des différents usages auxquels elle est applicable, et une réponse aux objections faites contre elle,* par Thomas Savery. Londres, 1702.

communication avec la chaudière, et ouvrant aussitôt le robinet *e*, on fait arriver un courant d'eau continu du réservoir E ; la vapeur contenue dans le vase S se trouve ainsi su-

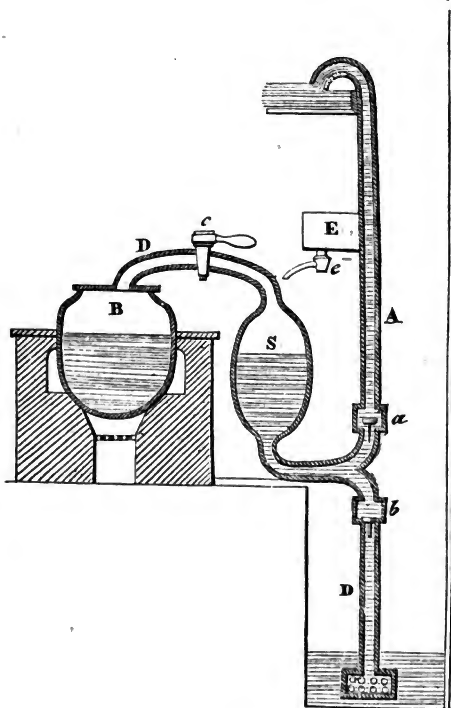


Fig. 7.

bitement condensée. Le vide se trouvant produit à l'intérieur de ce vase par suite de la condensation de la vapeur, la soupape *b* se soulève par l'afflux de l'eau qui s'élance, par le tube D, dans l'intérieur de l'appareil, en vertu de la pression atmosphérique. Alors le robinet *c*, étant ouvert de nou-

veau, donne accès à de nouvelle vapeur dans le vase S, et cette vapeur, pressant le liquide, le refoule dans le tube A. La vapeur étant de nouveau condensée par une affusion d'eau froide, le vide produit dans le vase S appelle une nouvelle quantité d'eau dans ce récipient, et ainsi de suite. Il suffit donc d'ouvrir successivement les robinets *c* et *e* pour élever, d'une manière à peu près continue, toute l'eau que l'on désire faire monter. D'après Switzer, cette machine pouvait élever par minute 52 gallons d'eau, c'est-à-dire quatre fois le contenu du récipient S, à la hauteur de cinquante-cinq pieds.

La machine de Savery présentait un défaut capital. Le récipient devait satisfaire à deux conditions incompatibles. Les parois de ce vase auraient dû être à la fois très-épaisses pour supporter à l'intérieur la pression considérable exercée par la vapeur d'eau, et très-minces pour se refroidir rapidement. En outre, cette machine n'élevait l'eau qu'à la condition de l'échauffer en partie, car la vapeur, arrivant à l'intérieur du récipient S, s'y condensait en grande quantité ; de telle manière que lorsque l'eau montait dans le tube, elle avait déjà acquis une température assez élevée par suite de la chaleur abandonnée par la vapeur revenue à l'état liquide. Cet appareil reposait donc sur un principe vicieux. Il y aurait cependant une profonde injustice à contester à Thomas Savery l'honneur qui lui revient pour avoir imaginé et construit la première machine à vapeur qui ait fonctionné en Europe. Si la postérité doit une haute reconnaissance au savant qui découvre de grandes vérités théoriques, elle doit le même tribut d'hommages à celui qui, transportant les idées dans la pratique, fait porter ses premiers fruits.

Lorsque Savery eut terminé la construction de sa machine, il se hâta de la présenter aux propriétaires des mines. Mais elle arrivait dans un mauvais moment. Depuis plusieurs années les propriétaires des mines de houille étaient

assiégés par les faiseurs de projets qui les avaient entraînés, sans résultats, dans toute sorte de dispendieux essais. Les échecs nombreux que l'on avait éprouvés en expérimentant des machines imparfaites ou de prétendus perfectionnements d'anciens mécanismes, devaient naturellement jeter de la défaveur sur toute conception nouvelle. La machine de Savery porta la peine de toutes les tentatives infructueuses exécutées jusque-là. Elle arrivait à la suite d'une foule de projets qui avaient trompé l'attente générale, et l'on ne prêta aucune attention aux promesses de son inventeur. Savery essaya inutilement de lutter contre ces fâcheuses préventions; les propriétaires des mines persistèrent à rejeter sa machine, qui ne servit guère que pour élever l'eau dans l'intérieur des palais ou des maisons de plaisance.

Savery n'assignait d'autres limites à la puissance de sa *pompe à feu* que l'impossibilité où l'on était de fabriquer des récipients et des tubes assez forts pour résister à la pression de la vapeur. « Je ferai monter, disait-il, de l'eau à 500 ou « 1000 pieds de hauteur, si vous pouvez m'indiquer le moyen « d'avoir des vaisseaux d'une matière assez solide pour ré- « sister à un poids aussi énorme que celui d'une colonne « d'eau de cette hauteur ; mais, du moins, ma machine élève « aisément un plein tuyau d'eau à 60, 70 et 80 pieds (1). » Comme la plupart des inventeurs, Savery s'exagérait ici la puissance de son appareil ; il oubliait le danger de l'explosion. La pensée ne lui était pas venue d'appliquer à sa chaudière la soupape que Papin avait imaginée. Aussi ne pouvait-on élever l'eau avec sécurité au delà de quarante pieds, et si l'on dépassait cette limite, on courait le risque de voir la chaudière éclater. Lorsque Savery établit une de ses pompes pour élever l'eau dans les bâtiments d'York, il produisait de la vapeur dont la pression atteignait huit ou dix atmosphè-

(1) *The miner's Friend.*

res, et alors, selon Désaguliers, « la chaleur était si grande « qu'elle fondait la soudure, et sa force telle qu'elle ouvrait « la machine dans différentes jointures. » Aussi les dangers que l'on redoutait, par suite du défaut de résistance des chaudières, furent-ils la considération la plus grave qui s'opposa à l'emploi de la pompe à feu de Savery pour l'épuisement de l'eau dans les mines.

Cependant l'introduction de ces premières machines à vapeur dans certains comtés de l'Angleterre eut pour résultat d'attirer l'attention sur l'emploi mécanique de la vapeur d'eau ; en même temps elle familiarisa avec son usage les populations des grands centres manufacturiers et les ouvriers des différentes professions.

En ce temps-là, vivaient dans la ville de Darmouth deux honnêtes et industrieux artisans, unis dès leur enfance par une étroite amitié : c'était le serrurier Thomas Newcomen et le vitrier Jean Cawley. Une machine de Savery vint à être établie dans le voisinage de Darmouth ; à leurs jours de loisir, Newcomen et Cawley aimaient à aller ensemble en considérer le mécanisme, et ils devisaient, au retour, sur les effets de cette machine nouvelle qui les frappait de l'admiration la plus vive. Les deux amis échangeaient entre eux les différentes pensées que cette vue faisait naître dans leur esprit. Newcomen avait quelque instruction, il n'était pas sans lecture. Compatriote de Robert Hooke, il avait coutume de lui écrire pour lui soumettre divers projets relatifs à sa profession. Jean Cawley engagea donc son ami à communiquer au docteur les réflexions que leur avait suggérées l'examen de la pompe à feu de Savery. A la suite de la correspondance qui s'établit entre eux sur ce sujet, Robert Hooke fit connaître à Newcomen la machine atmosphérique que Papin avait proposée en 1690 dans les *Actes de Leipsick*. Or, il ne parut pas impossible aux deux artisans de mettre à exécution le plan du mécanicien français, et la correspon-

dance continua sur ce nouveau point entre le docteur et l'intelligent ouvrier. Robert Hooke renouvelait auprès de Newcomen les critiques qu'il avait dirigées, devant la Société royale, contre la machine de Papin ; cependant ces objections ne produisaient qu'une impression médiocre sur l'esprit de l'artisan ; ses connaissances incomplètes en mécanique l'empêchaient sans doute d'apprécier toute la portée des critiques du savant. On a trouvé dans les papiers de Robert Hooke le brouillon d'une lettre dans laquelle il essaye de dissuader Newcomen du projet de construire une machine d'après les idées du physicien français. Cette lettre renfermait ce passage significatif : « Si Papin pouvait faire « le vide *subitement* dans son cylindre, votre affaire serait « faite. » Robert Hooke faisait allusion par là à l'excessive lenteur que présentaient les mouvements du piston dans la machine de Papin, par suite de l'absence de tout expédient propre à condenser rapidement la vapeur. C'est certainement en réfléchissant sur les moyens de produire plus promptement le vide dans le cylindre de Papin, que Newcomen et Cawley eurent l'idée, bien simple d'ailleurs et d'avance tout indiquée, de condenser la vapeur par des affusions d'eau froide. Quoi qu'il en soit, aidé de son ami le vitrier, Newcomen se mit à construire, au coin de sa forge, un modèle de machine qu'il destinait à des expériences. Une chaudière servait à diriger un courant de vapeur dans l'intérieur d'un cylindre de cuivre muni d'un piston ; quand le piston était parvenu au haut de sa course, on condensait subitement la vapeur en faisant couler de l'eau froide sur la partie extérieure du cylindre ; dès lors, le poids de l'atmosphère, ne rencontrant plus de résistance au-dessous du piston, le faisait aussitôt redescendre. Les deux artisans de Darmouth, transportant dans la pratique les idées de Papin, venaient d'exécuter la première machine à vapeur atmosphérique, c'est-à-dire la machine la plus puissante et

la plus simple qui eût été construite jusqu'à cette époque.

Newcomen et Cawley se mirent alors en campagne pour obtenir du roi la délivrance d'un brevet qui leur assurât le privilége de leur machine. Mais le crédit d'un serrurier du Devonshire est chose assez mince, et il s'écoula un temps assez long avant que l'on songeât à examiner la demande des deux artisans. Sur ces entrefaites, Savery fut instruit de leurs démarches. Le procédé de condensation de la vapeur par des aspersions d'eau froide était mis en usage dans la machine de Newcomen et Cawley, et la propriété de ce moyen, spécifié dans son brevet, lui était acquise aux termes de la loi anglaise. Savery s'opposa donc à l'autorisation sollicitée par Newcomen. Un procès semblait inévitable pour vider la question soulevée entre les deux parties. Mais Newcomen et Cawley étaient quakers ; en vertu des principes de leur secte, ils répugnaient à toute contestation, et surtout à un débat judiciaire. Ils proposèrent donc à Savery de le comprendre dans leur association, et, au lieu de courir les chances d'un procès, de partager avec eux les bénéfices de l'exploitation future. L'offre fut acceptée, et comme le capitaine Savery était sur un bon pied à la cour, il obtint aisément du roi George la délivrance du brevet. C'est pour cela qu'en 1705 une *patente royale* fut délivrée aux trois associés, Newcomen, Cawley et Savery, pour la construction et l'exploitation d'une machine à vapeur.

En proposant à Savery de le comprendre dans leur association, Newcomen et Cawley avaient peut-être aussi quelque arrière-pensée d'intérêt. Ils étaient tous les deux dépourvus de connaissances théoriques, et comme leur machine n'avait jamais été construite que sur de petits modèles, le concours d'un ingénieur aussi habile et aussi instruit que Savery ne pouvait leur être indifférent. Il paraît cependant qu'ils furent trompés dans ce calcul, car peu de

temps après nous voyons les deux artisans livrés à leur propres ressources.

Vers la fin de l'année 1711, Newcomen et Cawley firent des propositions aux propriétaires de l'une des mines de houille de Griff, dans le comté de Warwick, pour en épuiser les eaux à l'aide de leur machine ; cinquante chevaux étaient employés dans cette mine aux travaux de desséchement, ce qui occasionnait pour ce seul objet une dépense annuelle de plus de 22,000 francs. Cette proposition ne fut point agréée ; mais les associés furent plus heureux six mois après, car ils réussirent à passer un marché avec un M. Back, de Wolverhampton, pour un travail analogue. Il ne s'agissait donc plus que de construire la machine. Mais Newcomen et Cawley n'étaient ni assez physiciens pour se laisser guider par la théorie, ni assez mathématiciens pour calculer l'action des diverses pièces et les proportions à donner à chacune d'elles. Ils étaient donc embarrassés pour l'exécution de leur marché. Heureusement ils se trouvaient près de Birmingham, à la portée d'un grand nombre d'ouvriers ingénieux et adroits. Grâce à leur concours, ils parvinrent à fabriquer convenablement les cliquets, les pistons et les soupapes. La machine, définitivement construite, fut installée à l'entrée de la mine, et commença à fonctionner.

Elle marchait depuis quelques jours à peine, lorsque le hasard donna aux deux associés l'occasion d'y apporter une amélioration capitale, qui en augmenta la puissance dans une proportion inattendue. Un jour, la machine marchant comme à l'ordinaire, on la vit soudain accélérer ses mouvements, et les coups de piston se succéder avec une vitesse inusitée. Après bien des recherches, on découvrit la cause de cet heureux phénomène. Dans les premiers temps de la fabrication des machines à vapeur, on ne possédait pas encore les moyens de construire des pistons et des cylindres assez bien ajustés pour qu'il n'existât aucun intervalle

entre les parois intérieures du cylindre et celles du piston. Pour empêcher la vapeur de s'échapper par les interstices entre le piston et le cylindre, Newcomen avait pris le parti de recouvrir la tête du piston d'une légère couche d'eau qui pénétrait dans tous les vides, et les remplissait de manière à prévenir les fuites de vapeur. Or, en examinant le piston, un ouvrier reconnut qu'il se trouvait accidentellement percé d'un trou : c'était en tombant goutte à goutte, par ce trou, dans l'intérieur du cylindre, que l'eau froide, condensant plus rapidement la vapeur, accélérait, comme on l'avait observé, les mouvements du piston. Cette remarque porta ses fruits. On avait opéré jusque-là la condensation de la vapeur en dirigeant un courant d'eau froide dans une enveloppe métallique qui entourait extérieurement le cylindre ; cette enveloppe fut supprimée, et l'on condensa la vapeur en injectant une pluie d'eau froide dans l'intérieur même du cylindre, à l'aide d'un tube se terminant en pomme d'arrosoir. Grâce à ce perfectionnement, la machine put donner huit à dix coups de piston par minute.

Amenée à cet état, la machine de Savery, Newcomen et Cawley, qui fut désignée généralement sous le nom de *machine de Newcomen* se répandit en Angleterre, et fut adoptée dans presque toutes les exploitations de mines ; elle y remplaça l'ancienne pompe de Savery.

La figure suivante fera comprendre les divers éléments qui composent la machine de Newcomen.

Une chaudière A, munie d'une soupape de sûreté O, dirige sa vapeur dans l'intérieur du cylindre C qui la surmonte. Le piston H, qui parcourt ce cylindre, est fixé, par une chaîne de fer, à l'une des extrémités d'un lourd balancier L, qui peut tourner sur son point d'appui ; l'autre extrémité de ce balancier est munie d'une seconde chaîne supportant un contre-poids M et une longue tige N qui lui fait suite, et qui descend dans le puits de la mine pour y faire

mouvoir les pompes destinées à l'épuisement des eaux. Quand la vapeur arrive dans l'intérieur du cylindre, elle soulève le piston de bas en haut, en surmontant l'effort de la pression atmosphérique ; dès lors le contre-poids M s'a-



Fig. 8.

baisse en vertu de la pesanteur, il fait basculer le balancier, qui achève de soulever le piston jusqu'au haut de sa course. Si l'on ferme alors le robinet *a* pour arrêter l'afflux de la vapeur venant de la chaudière, et qu'en même temps on ouvre le robinet *b* de manière à faire couler dans l'intérieur du cylindre un courant d'eau froide qui descend, par un tuyau *d*, du réservoir G, on détermine la condensation subite de la vapeur qui remplissait le cylindre. La conden-

sation de la vapeur opère le vide dans cet espace, et dès lors le poids de l'atmosphère au-dessus du piston, n'étant plus contre-balancé au-dessous par la tension de la vapeur, précipite jusqu'au bas de sa course le piston qui entraîne le balancier dans sa chute. Il suffit donc d'ouvrir alternativement les deux robinets *a* et *b* pour obtenir, d'une manière continue, les mouvements ascendant et descendant de la tige N. L'eau qui a servi à la condensation s'écoule hors du cylindre à l'aide d'une ouverture F et d'un tuyau *c*, muni d'un robinet qui s'ouvre de temps en temps. Comme l'effet de la machine dépend uniquement de la pression exercée par l'air atmosphérique sur la tête du piston, on comprend que l'on peut obtenir une puissance motrice aussi grande qu'on le désire, en donnant à la surface du piston les dimensions convenables.

Tel est le mécanisme de la pompe à feu de Newcomen, dont le principe moteur est, à proprement parler, le poids de l'atmosphère, et qu'il faudrait, d'après cela, désigner sous le nom de *machine atmosphérique*, ou, si l'on veut, de *machine à vapeur atmosphérique*. Elle présente la plus remarquable application des travaux exécutés par les physiciens du dix-septième siècle sur la pesanteur de l'air et sur l'emploi de cette force motrice ; il était donc nécessaire de rappeler l'histoire de ces travaux pour faire comprendre les dispositions primitives de la machine à vapeur.

La figure suivante, qui est empruntée à un ouvrage du dernier siècle, la *Physique* de Désaguliers, fait voir, en perspective, la machine de Newcomen, telle qu'elle fonctionnait à Londres, vers le milieu du dix-huitième siècle, pour la distribution des eaux.

C représente le cylindre destiné à recevoir la vapeur provenant de la chaudière *oo*, qui est, en partie, recouverte à l'extérieur d'une enveloppe de maçonnerie. La vapeur s'introduit dans ce cylindre par le robinet *d* qui peut être

alternativement ouvert ou fermé. Un disque, manœuvré par une tige indiquée sur la figure par le chiffre 3 et qui est mue par la machine elle-même, permet de fermer ou d'ouvrir

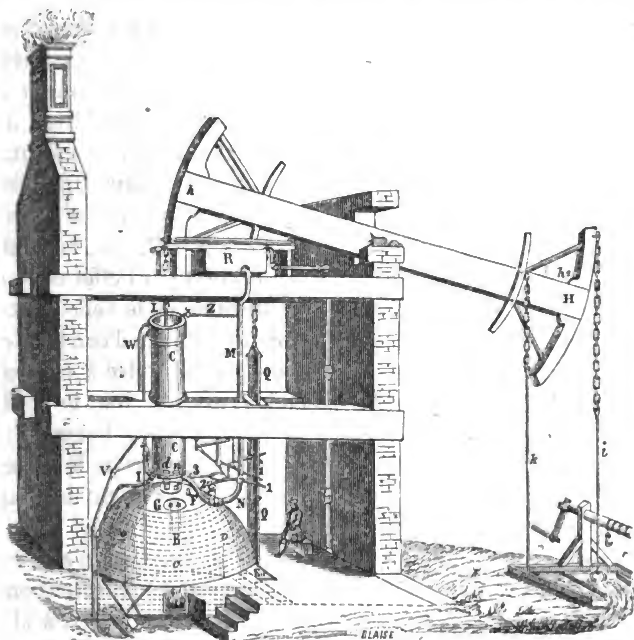


Fig. 9.

ce tuyau pour introduire la vapeur dans le cylindre ou suspendre son admission.

Quand la vapeur s'introduit dans le cylindre, elle pousse de bas en haut le piston, en surmontant l'effet de la pression atmosphérique. Le colossal balancier de la machine, dont une extrémité est attachée aux tiges qui doivent faire jouer les pompes pour l'ascension de l'eau qu'il s'agit d'élever, est parfaitement équilibré. Dès lors, le piston du cylindre, en

s'élevant sous la pression inférieure de la vapeur, dérange cet équilibre, et le balancier se meut, c'est-à-dire qu'il oscille de haut en bas, et les tiges *i*, *k* des pompes descendant dans le puits à eau, le bras droit de ce balancier H s'abaisse, et le bras gauche *h* s'élève. Quand le piston est arrivé au haut de sa course, la machine suspend elle-même l'admission de la vapeur dans le cylindre à vapeur, en fermant le tuyau d'admission *d;* en même temps, la machine, au moyen d'un engrenage convenablement placé, et marqué sur la figure par les chiffres 1, 2, ouvre un robinet qui laisse couler dans le cylindre, sous forme d'une pluie fine, l'eau froide contenue dans le réservoir supérieur R, qui, descendant par le tuyau recourbé MN, s'introduit par l'effet de son poids dans cette capacité. La condensation de la vapeur s'opère aussitôt dans le cylindre par cette injection d'eau froide. Lorsque le vide est ainsi produit dans le cylindre à vapeur, le piston de ce cylindre redescend, pressé par tout le poids de l'air atmosphérique s'exerçant sur sa tête; l'extrémité gauche du balancier *h* s'abaisse, l'extrémité droite H se relève, les tiges des pompes *i*, *k* remontent et élèvent de l'eau du puits par le jeu de leurs pistons.

Z est un tube par lequel une certaine quantité d'eau est amenée à la surface du piston, de manière à humecter constamment le cuir dont il est entouré. Le tube WI sert à alimenter la chaudière, au moyen de l'eau déjà échauffée qui a séjourné au-dessus du piston. L'eau d'injection est évacuée par le tube L, dont l'extrémité inférieure est recourbée et munie d'un clapet. Le tube V est un vide-trop-plein pour l'eau qui recouvre le piston. On voit en X un petit tube muni d'une soupape appelée *soupape reniflante*, par laquelle s'échappe, lorsque le piston arrive au bas de sa course, l'air provenant de la vapeur et de l'eau de condensation. Le peu d'eau qui sort par la soupape reniflante va se dégorger dans le tube V.

L'eau froide qui sert à condenser la vapeur dans le cylindre est prise sur une partie de celle que la pompe *ik* extrait de l'intérieur du puits. A cet effet, une partie de cette eau est refoulée par la tige *k* dans un tuyau de fer appuyé le long du massif en maçonnerie qui supporte le balancier. Cette eau est ainsi poussée jusqu'au réservoir R, d'où elle doit partir pour servir à la condensation de la vapeur.

QQ est une tringle verticale de bois attachée au balancier, et qui, pourvue d'une rainure et de diverses chevilles, est destinée à ouvrir et à fermer successivement le robinet d'admission de la vapeur dans le cylindre et le robinet d'injection d'eau froide dans le même cylindre. C'est la tringle que l'on a désignée, en Angleterre, sous le nom de *plug-frame* et qui rend la machine à vapeur automatique, c'est-à-dire réglant elle-même ses propres mouvements.

Les tiges L, QQ, *k*, *i* restent constamment dans une ligne verticale, grâce aux arcs de cercle sur lesquels s'enroulent et se déroulent les chaînes d'attache dans les mouvements oscillatoires du balancier. F indique une soupape de sûreté chargée directement et non par l'intermédiaire d'une romaine, système fort inférieur à celui que Papin avait proposé et qui n'était pas encore en usage. Du reste, sur la proposition de Désaguliers, on ne tarda pas à adapter la soupape de sûreté, telle que Papin l'avait imaginée, aux machines de Newcomen.

On voit en G deux robinets d'épreuve qui sont en tout semblables aux deux robinets qui existent sur les machines actuelles, et qui ont pour but de montrer à l'extérieur si le niveau de l'eau se maintient au niveau voulu à l'intérieur de la chaudière. A cet effet, ces robinets sont fixés sur des tubes dont les extrémités inférieures doivent plonger, l'une dans l'eau de la chaudière, l'autre dans la vapeur, lorsque le niveau de l'eau dans la chaudière est à la hauteur convenable. Pour que cette condition soit remplie, il faut que le robinet

de gauche donne un jet d'eau liquide et celui de droite un jet de vapeur. Lorsqu'en les ouvrant on trouve que cette condition n'est pas remplie, on hâte ou l'on ralentit l'alimentation de la chaudière, suivant que l'eau y est descendue trop bas ou s'y est élevée trop haut.

Le dessinateur n'a pas manqué de représenter, sur la figure précédente, le mécanicien auquel est confiée la conduite de l'appareil. On voit qu'un seul homme suffit à gouverner tout. Tranquillement assis, appuyé contre le massif du milieu, il n'a à accomplir aucun travail pénible; il se borne à surveiller la marche de sa machine, à s'assurer que toutes les pièces marchent régulièrement, à ralentir ou à activer le feu du fourneau, car il ne s'agit que de fournir du combustible à cet appareil intelligent, qui exécute à lui seul, et sans que la force de l'homme ait jamais besoin d'intervenir, des ouvrages qui auraient exigé autrefois le concours d'un nombre immense de travailleurs.

Ainsi, dès le milieu du dix-huitième siècle l'immortelle conception de Papin était entrée définitivement dans le domaine de l'industrie. Les idées mises en avant par le génie du physicien de Blois étaient toutes réalisées et portaient leurs fruits. La machine de Newcomen n'était autre chose, en effet, que la traduction pratique des idées nouvelles que Denis Papin avait jetées dans la science de la mécanique.

Le bel appareil que nous venons de décrire a été le point de départ de toutes les machines à vapeur modernes : il nous reste à faire connaître les perfectionnements successifs qui en ont fait la machine à vapeur de notre siècle.

CHAPITRE VII

Perfectionnements apportés à la machine de Newcomen. — Progrès de la physique touchant la théorie de la chaleur. — Découverte du thermomètre. — Travaux de Black sur la chaleur latente et la vaporisation.

La pensée qui nous guide dans cette notice, c'est de montrer que la création des différents organes de la machine à vapeur fut toujours la conséquence et l'application des découvertes théoriques successivement réalisées dans la science. On a vu qu'avant l'institution de la physique moderne, rien de ce qui ressemble à la machine à vapeur n'avait été ni n'avait pu être conçu. Mais dès que la physique, issue des travaux de Galilée, commence à essayer ses premiers pas, dès le moment où les découvertes de Pascal et d'Otto de Guericke ont marqué ses brillants débuts, on voit ces faits passer immédiatement dans la pratique, et le génie de Papin s'en emparer, pour en tirer des applications mécaniques par la création d'un nouveau moteur. Cette liaison étroite qui se fait remarquer entre la situation de la science et les progrès de la machine à vapeur, deviendra plus sensible et plus évidente encore à mesure que nous avancerons dans l'histoire de ses perfectionnements. Nous allons voir une période de plus de soixante ans s'écouler sans apporter aucune amélioration aux principes mécaniques concernant l'emploi de la vapeur d'eau. L'explication de ce fait paraîtra fort simple, si l'on considère que, dans ce long intervalle, la théorie de la chaleur resta complétement stationnaire. Les physiciens, tout entiers à l'étude nouvelle et si remplie d'attraits des phénomènes électriques, n'avaient pas encore

abordé l'examen des faits qui se rapportent à la chaleur ; ce n'est que vers l'année 1760 que les théories de la vaporisation, de la condensation et du changement d'état des corps, furent établies par Joseph Black. Aussi, durant cette suite d'années qui s'étend depuis la construction de la première machine atmosphérique par Newcomen, jusqu'aux travaux de Black, en 1760, l'histoire de la machine à vapeur n'offre-t-elle à signaler que des perfectionnements apportés à la partie exclusivement mécanique des appareils. Tout ce qui concerne le principe d'action de la machine reste entièrement en dehors de ces modifications secondaires, qu'il nous suffira dès lors de mentionner en quelques mots.

Le premier perfectionnement apporté au mécanisme de la pompe à feu est dû à une circonstance qu'il est assez curieux de connaître. Dans la machine telle que Newcomen l'avait construite, les deux robinets destinés à donner accès à la vapeur, et à introduire l'eau de condensation dans l'intérieur du cylindre, s'ouvraient et se fermaient à la main. Un ouvrier, et souvent un enfant, étaient chargés d'exécuter cette opération, et, quelles que fussent leur habitude ou leur adresse, on ne pouvait obtenir ainsi plus de dix à douze coups de piston par minute ; en outre, la moindre distraction de la part de l'apprenti, non-seulement retardait le jeu de la machine, mais pouvait compromettre son existence. En 1713, un enfant chargé de ce soin, contrarié, dit-on, de ne pouvoir aller jouer avec ses camarades, imagina un moyen de se soustraire à cette sujétion forcée. Il avait remarqué que l'un des robinets devait être ouvert au moment où le balancier a terminé sa course descendante, pour se fermer au commencement de l'oscillation opposée : la manœuvre du second robinet était précisément l'inverse. Les positions du balancier et du robinet se trouvant ainsi dans une dépendance nécessaire, l'enfant reconnaît que le balancier lui-même pourrait servir à ouvrir et à fermer les robi-

nets. Son plan est aussitôt conçu et mis à exécution. Il attache à chacun des robinets deux ficelles de longueur inégale, et après de longs tâtonnements, il fixe leur extrémité libre à des points convenablement choisis sur le balancier ; de telle sorte qu'en s'élevant ou s'abaissant par l'action de la vapeur, le balancier ouvrait ou fermait lui-même les robinets au moment nécessaire. La machine put ainsi marcher sans surveillant, et l'apprenti s'en alla triomphalement rejoindre ses camarades. La tradition nous a conservé le nom de cet utile paresseux : il s'appelait Humphry Potter.

Le mécanicien Beighton substitua aux ficelles du jeune Potter une tringle de fer verticale ; c'est la partie de la machine de Newcomen que l'on voit représentée sur la figure précédente par les lettres QQ, c'est-à-dire le *plug-frame*. C'est en 1718 que Beighton établit à Newcastle une machine de Newcomen dans laquelle, pour la première fois, l'ouvrier chargé de faire manœuvrer les robinets fut remplacé par une tige métallique suspendue au balancier et qui exécutait cette opération à l'aide de chevilles disposées sur des points convenables de sa longueur. La machine put alors donner quinze coups par minute, mais l'idée première de charger le balancier d'exécuter ces mouvements revient à l'apprenti dont le nom est acquis à la postérité.

En 1758, le mécanicien Fitz-Gerald fit connaître, dans les *Transactions philosophiques*, le moyen de transformer le mouvement vertical de la machine atmosphérique en un mouvement rotatoire grâce à un système de roues dentées, et par l'addition d'un volant destiné à régler le mouvement.

L'emploi d'un flotteur, imaginé par Brindley, vers 1760, pour régulariser l'entrée de l'eau d'alimentation dans les chaudières, est un utile perfectionnement qu'il est bon de signaler ici. Nous aurons terminé la revue des principales modifications apportées aux différentes pièces de la pompe à feu, si nous ajoutons que, dans plusieurs machines qu'il

fut chargé de construire, l'ingénieur Smeaton parvint à perfectionner beaucoup la fabrication des pistons et des cylindres, et qu'il réussit de cette manière à éviter les pertes considérables de vapeur qu'occasionnaient les machines antérieures. D'importantes modifications apportées à la construction des chaudières et à la disposition du foyer permirent enfin d'économiser une certaine partie du combustible. Nous ne dirons rien des perfectionnements introduits par Smeaton dans la pompe de Savery, car cette dernière avait déjà presque partout cessé d'être en usage.

On le voit pourtant, de toutes ces utiles modifications apportées à la machine atmosphérique, aucune ne touchait au principe même de son action, c'est-à-dire à la manière de mettre en jeu la force élastique de la vapeur. La machine de Newcomen, avec son énorme balancier et l'excessive consommation de combustible qu'elle exigeait, continuait de fonctionner en conservant l'ensemble des dispositions imaginées soixante ans auparavant par le serrurier de Darmouth. C'est que la théorie générale de la chaleur et les théories particulières de la vaporisation et de la condensation, qui en sont la conséquence, étaient encore à créer tout entières. Les premiers linéaments de la théorie du calorique ne furent tracés que vers l'année 1694, par la main de Guillaume Amontons. Ce physicien ingénieux et modeste, qui eut, comme on le verra dans le cours de cet ouvrage, le mérite de découvrir le principe de la télégraphie aérienne, est, en effet, l'auteur des premières vues raisonnables que l'on ait conçues sur la nature et les effets de la chaleur; c'est à lui que revient l'honneur d'avoir substitué une opinion sérieuse, fondée sur l'observation et l'expérience, aux divagations de l'ancienne physique concernant ces phénomènes. Amontons émit le premier cette idée vraie et profonde, que les divers états de la matière, solide, liquide et gazeux, sont dus à

l'existence, dans les corps, d'un fluide impondérable, qu'il désigna sous le nom de *calorique*. Par diverses expériences, exécutées avec la précision que pouvaient comporter les moyens d'observation de son époque, il constata les effets de dilatation que provoque, dans les corps, l'accumulation du calorique ; il reconnut que l'air échauffé augmente de force élastique, et découvrit ce fait important, que l'eau se maintient à une température invariable quand elle a atteint le terme de son ébullition; en un mot, il procéda le premier, par la voie de l'expérience, à l'examen des phénomènes calorifiques.

Cependant un obstacle capital empêchait la théorie de la chaleur de s'établir sur des bases solides. Pour qu'une branche quelconque des sciences physiques puisse se constituer, se perfectionner ou s'étendre, il ne suffit pas qu'elle possède un certain nombre de faits, il faut encore que ces faits puissent être rapprochés et comparés entre eux ; il faut que les actions, une fois produites, puissent être soumises à la mesure. Or, les phénomènes relatifs à la chaleur n'étaient alors susceptibles d'aucune comparaison, car les physiciens ne possédaient encore aucun instrument de mesure. A la vérité, il existait depuis un siècle un petit appareil désigné sous le nom de *thermomètre;* mais c'est à tort qu'il portait ce nom, car il ne pouvait servir en aucune manière à mesurer et à comparer les différentes températures des corps ; il permettait seulement d'apprécier une différence de température entre deux corps inégalement échauffés.

Les instruments qui nous servent à rechercher les lois de la nature étaient entachés, à leur origine, d'imperfections que l'on a vues successivement disparaître devant les résultats de l'expérience. A l'exception du baromètre, qui conserve encore les dispositions que lui assigna Torricelli, tous les instruments d'observation ou de mesure physique, tels que le télescope, le microscope, la machine pneumatique, la

machine électrique, la pile de Volta, etc., ont dû subir un très-grand nombre de transformations avant de recevoir la forme qu'ils présentent de nos jours. Le thermomètre offre particulièrement un exemple de ce fait ; il a fallu deux siècles de travaux pour porter cet instrument au degré de perfection qui le distingue aujourd'hui.

On a revendiqué en faveur d'un grand nombre de savants la découverte du thermomètre : François Bacon, Fludd, Drebbel, Sanctorius, Galilée et Van Helmont même, ont été successivement honorés du titre d'inventeurs de cet instrument. Les idées insuffisantes et vagues qui présidèrent à sa construction, au dix-septième siècle, ne méritaient guère cependant d'être disputées entre des savants d'un tel ordre. Rien ne ressemble moins à un appareil de mesure que le thermomètre dont les anciens physiciens ont fait usage. Le premier de ces instruments, qui paraît avoir été construit par le Hollandais Cornelius Drebbel, se composait d'un simple tube de verre rempli d'air, fermé à son extrémité supérieure, et plongeant, par son extrémité ouverte, dans un petit flacon qui contenait de l'eau-forte étendue d'eau. Selon la température extérieure, et par l'effet de la dilatation de l'air enfermé dans le tube, le liquide montait ou s'abaissait dans le tube. L'instrument était muni d'une échelle divisée en parties égales ; mais sa graduation, qui n'était fondée sur aucun principe déterminé, ne fournissait aucune indication comparable.

Un membre de l'Académie *del Cimento,* de Florence, perfectionna, vers le milieu du dix-septième siècle, cet instrument grossier, sans réussir cependant à rendre ses degrés comparables. Le thermomètre de l'Académie *del Cimento* consistait simplement en un tube de verre purgé d'air et rempli d'alcool coloré ; on le portait dans une cave et l'on marquait d'un trait le point où s'arrêtait le liquide ; les portions du tube situées au-dessus et au-dessous de ce trait

étaient ensuite divisées en cent parties égales. Avec une division aussi arbitraire, ces instruments ne pouvaient s'accorder entre eux; deux thermomètres construits suivant cette même méthode parlaient, chacun, une langue différente. Cependant la physique se contenta durant un demi-siècle de cet instrument grossier (1).

C'est un physicien de Pise, Renaldini, professeur à Padoue, qui reconnut le premier la nécessité de bannir du thermomètre toutes les mesures vagues et arbitraires adoptées jusque-là, et qui proposa de choisir, pour établir la graduation de l'instrument, des *points fixes* que l'on pût retrouver en toute occasion. Peu de temps après, Newton mit à exécution l'idée que le professeur de Padoue n'avait réalisée que d'une manière incomplète. L'illustre physicien donna, en 1701, dans les *Transactions philosophiques*, la description du premier thermomètre à indications comparables. Le liquide employé par Newton pour la mesure de la chaleur, était l'huile de lin ; les points fixes adoptés pour sa graduation étaient la température du corps humain pour le terme supérieur, et pour le point inférieur, le point où s'arrêtait l'huile au moment de sa congélation, que l'on provoquait en plongeant l'instrument dans de la neige. L'intervalle entre ces deux points fixes était divisé en douze parties, et la division prolongée au delà de ces deux limites. Le point d'ébullition de l'eau correspondait ainsi au degré 34, celui de la fusion de l'étain à 72, etc. Newton détermina, à l'aide de cet instrument, plusieurs termes de température dont la connaissance importait à la physique.

(1) Dans ses expériences sur le *digesteur*, Papin ne se servit jamais du thermomètre. Pour évaluer la température de la vapeur qui remplissait l'appareil, il se contentait de laisser tomber une goutte d'eau sur le couvercle du *digesteur;* le nombre de secondes que cette goutte d'eau employait à s'évaporer lui servait d'indice comparatif et de moyen de mesure pour déterminer approximativement la température de la vapeur. (Voyez *Manière d'amollir les os*, p. 12.)

Cependant la faible dilatation de l'huile par l'action de la chaleur, et sa congélation à une température modérée, rendaient incertain et délicat l'emploi du thermomètre de Newton. C'est ce qui détermina Amontons à chercher un agent thermométrique plus sensible aux influences du calorique. Dans cette vue, le physicien français construisit un thermomètre à air. Le point fixe de cet instrument fut déterminé par la température de l'eau bouillante, qu'Amontons avait reconnue le premier comme un terme constant. Mais cet instrument présentait, dans la pratique, toutes les difficultés qui se rattachent à l'emploi du thermomètre à gaz, et qui dépendent surtout de la dilatation trop considérable que les fluides élastiques éprouvent par l'action de la chaleur. Il exigeait la correction de la hauteur barométrique, et de plus, comme il avait au moins quatre pieds de long, il était assez difficile à manier à cause de son poids et de sa fragilité.

Le problème de la construction d'un thermomètre comparable, exact, sensible et commode, présentait, on le voit, des difficultés de plus d'un genre ; ce ne fut qu'en 1714 qu'il fut à peu près résolu par un fabricant d'instruments de Dantzig, nommé Gabriel Fahrenheit. Dans ses premiers thermomètres, l'artiste allemand avait adopté l'alcool comme liquide thermométrique, mais il eut plus tard l'heureuse idée de choisir le mercure. Ce métal, employé comme agent de mesure pour la chaleur, réunit en effet toutes les conditions désirables : il n'entre en ébullition qu'à une température très-élevée, et peut servir, par conséquent, à mesurer la chaleur dans des termes fort étendus ; il ne se congèle qu'à une température qui ne se présente jamais dans nos régions ; enfin, et c'est là le point capital pour son application comme agent thermométrique, il se dilate uniformément, c'est-à-dire que son augmentation de volume est exactement proportionnelle, au moins dans une échelle très-

étendue, à la quantité de calorique qu'il reçoit. Les points fixes choisis par Fahrenheit étaient l'ébullition de l'eau pour le terme supérieur, et pour le terme inférieur, le point auquel l'instrument s'arrêtait quand il le plongeait dans un mélange de sel ammoniac et de neige, mélange dont il n'a jamais fait connaître, d'ailleurs, les proportions relatives. L'intervalle qui séparait ces deux points était divisé en 212 parties, de telle sorte que le point de la congélation de l'eau correspondait à 32 degrés, celui de la température du corps humain à 96 degrés, celui de l'ébullition de l'eau à 212 degrés. La plupart de ses thermomètres n'étaient pas gradués au delà de 96 degrés (1).

Le thermomètre de Fahrenheit fut immédiatement adopté en Angleterre et en Allemagne, où il est encore en usage aujourd'hui. En France, on se servit de préférence du thermomètre construit, vers 1730, par Réaumur, qui choisit pour les deux points fixes, le terme de la glace fondante et celui de l'ébullition de l'eau, et divisa l'entre-deux en quatre-vingts parties égales. Enfin Celsius, professeur à Upsal, construisit, en 1741, le thermomètre que l'on connaît aujourd'hui sous le nom de *thermomètre centigrade* ou de *Celsius ;* il divisa en cent parties égales l'intervalle entre les deux points fixes de la glace fondante et de l'ébullition de l'eau (2).

(1) Cette division en 212 parties, en apparence assez arbitraire, avait été adoptée par Fahrenheit, parce qu'il avait trouvé par expérience que 11,124 parties de mercure, en volume, chauffées depuis le terme 0 jusqu'à l'eau bouillante, se dilataient au point d'en constituer alors 11,336, c'est-à-dire de présenter une dilatation de 212 parties en volume.

(2) C'est le physicien Celsius qui détermina les physiciens à abandonner, pour la graduation du thermomètre, la considération du volume de la liqueur enfermée dans l'instrument, et à s'en tenir aux points fixes sans avoir égard à la dilatation du liquide qu'il contient. Fahrenheit et Réaumur avaient, au contraire, établi la division de leur instrument en comparant la grandeur de chaque degré à la masse totale du liquide renfermé dans le réservoir. Ainsi, chaque degré de l'échelle du thermomètre à alcool de Réaumur indiquait que la liqueur s'était dilatée d'un millième de son volume à zéro, et chaque degré du thermomètre de

La physique possédait enfin un instrument qui permettait de mesurer les phénomènes calorifiques. On pouvait donc aborder l'étude des lois de la chaleur avec des moyens rigoureux d'observation, et, grâce à leur emploi, la théorie du calorique ne tarda pas à se constituer.

C'est au physicien écossais Joseph Black, professeur à l'université de Glascow, que revient l'honneur d'avoir fondé la théorie générale de la chaleur. Après avoir confirmé par l'expérience la vérité de l'opinion d'Amontons touchant la cause de l'état physique des corps, Joseph Black créa, par une suite d'observations et de mesures précises, la théorie du *calorique latent* et celle du *calorique spécifique*. La première de ces théories était appelée à jeter la plus vive lumière sur les phénomènes qui accompagnent la vaporisation des liquides et la condensation des vapeurs. Elle se résume dans l'expérience suivante exécutée par Black en 1762.

Si l'on prend 1 kilogramme d'eau à la température de 79 degrés et 1 kilogramme d'eau à la température de 0 degré, et qu'on les mêle, le thermomètre, plongé dans ce mélange, indique 39°,5, c'est-à-dire la moyenne entre les températures des deux liquides mélangés à poids égaux. Mais le résultat sera tout autre si, au lieu d'employer de l'eau liquide à 0 degré, on emploie de la glace, c'est-à-dire de l'eau présentant toujours la température de 0 degré, mais offrant la forme solide. Si l'on mêle, en effet, 1 kilogramme de glace à

Fahrenheit représentait une dilatation de 1/212. Un Genevois, nommé Ducrest, avait émis cette idée une année avant Celsius ; mais le point fixe qu'il avait choisi était fautif, puisqu'il l'avait déterminé en plaçant simplement l'instrument dans les caves de l'Observatoire de Paris. En choisissant pour le terme 0 le point de la glace fondante, Celsius donnait à son thermomètre un point fixe qui réunissait tous les avantages possibles par la certitude de ce terme, par sa constance et par la facilité de le reproduire en toute occasion. C'est donc au physicien suédois qu'il convient de faire honneur de la perfection que le thermomètre présente de nos jours.

0 degré et 1 kilogramme d'eau chauffée à 79 degrés, on observe que la glace se fond et que le mélange tout entier devient liquide. Mais si l'on prend la température du mélange, on reconnaît qu'au lieu de représenter, comme dans l'expérience précédente, la moyenne entre les deux températures, elle est seulement de 0 degré. Les 79 degrés de chaleur que renfermait le kilogramme d'eau ont ainsi disparu sans laisser de traces ; seulement la glace s'est fondue, et le mélange a pris la forme liquide. Que conclure de ce fait remarquable? C'est que le kilogramme de glace a dû absorber, pour se fondre, les 79 degrés de chaleur qui ont disparu, et que cette quantité de calorique a été employée à déterminer sa fusion, puisque la température n'a pas varié. Ainsi 1 kilogramme d'eau solide a besoin pour se liquéfier d'absorber 79 degrés de chaleur ; en d'autres termes, 1 kilogramme d'eau liquide diffère d'un même poids d'eau solidifiée, en ce qu'elle contient 79 degrés de chaleur de plus que cette dernière. Mais cette chaleur n'est pas appréciable à nos organes, elle n'est pas accusée par le thermomètre; elle est latente, et c'est pour cela que Black, et avec lui tous les physiciens modernes, donnent le nom de *chaleur latente* à cette quantité de calorique qui n'affecte pas le thermomètre, et qui est nécessaire pour provoquer le changement d'état des corps (1).

Les phénomènes qui s'observent pendant le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, se reproduisent quand un liquide passe à l'état de vapeur. Pour se vaporiser, tous les liquides ont besoin d'absorber une quantité déterminée de calorique. Aussi la vapeur d'eau à 100 degrés diffère-t-elle de l'eau liquide à la même température, en ce qu'elle renferme une quantité considérable de calorique dissimulé ou

(1) Quand l'eau se congèle, elle met en liberté sa chaleur latente. On peut, en effet, constater, par l'expérience, qu'en se solidifiant, 1 kilogramme d'eau à 0 degré abandonne 79 degrés de chaleur.

latent qui la maintient à l'état de fluide élastique. En effet, lorsque la vapeur d'eau se condense, elle rend subitement libre tout le calorique latent qu'elle contenait, et cette quantité est très-considérable, puisque l'on a reconnu que 1 kilogramme de vapeur d'eau à la température de 100 degrés met en liberté, en revenant à l'état liquide, une quantité de calorique suffisante pour porter à l'ébullition 5,35 kilogrammes d'eau à zéro.

Telles sont les simples et grandes vérités mises en évidence par les expériences de Joseph Black, et entièrement ignorées avant lui. On comprend sans peine de quelle utilité était la connaissance de ces faits pour le perfectionnement des machines mises en jeu par la force élastique de la vapeur. C'est avec leur secours qu'il fut permis, dès ce moment, de calculer la quantité de chaleur mise en liberté par la condensation d'un volume donné de vapeur dans le cylindre de la machine de Newcomen, d'expliquer les phénomènes qui accompagnent cette condensation, d'apprécier la force élastique de la vapeur à différentes températures ; en un mot, d'étudier, par la voie de l'expérience, un grand nombre d'éléments pratiques qui jouent un rôle dans les effets de cette machine. Les découvertes de Black concernant le *calorique spécifique*, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un même nombre de degrés un poids donné des différents corps, apportèrent à l'étude théorique de la machine à vapeur des éléments d'un ordre nouveau et de la même importance.

Joseph Black, l'un des physiciens les plus remarquables du siècle dernier, n'a presque rien imprimé. Si l'on en excepte deux mémoires insérés dans les *Transactions philosophiques*, le seul témoignage écrit qu'il nous ait laissé de ses travaux se réduit à son traité intitulé: *Expériences sur la magnésie, la chaux vive et les substances alcalines*. Professeur depuis l'année 1754 à l'université de Glascow, Joseph

Black se contentait d'exposer dans ses cours le résultat de ses recherches. C'est ainsi que sa théorie du calorique latent fut développée chaque année, à partir de 1763, devant les élèves qui se pressaient à ses cours.

Parmi les personnes qui suivaient à cette époque les leçons de Joseph Black, se trouvait un jeune ouvrier mécanicien que la protection de l'université venait de tirer d'une position embarrassante. Appartenant à une famille honorable d'Écosse, ruinée par de mauvaises spéculations commerciales, il avait été forcé de renoncer à la carrière des sciences pour laquelle il avait manifesté, dès son enfance, des dispositions extraordinaires. A l'âge de seize ans, ses parents l'avaient mis en apprentissage à Greenock, sa ville natale, dans un petit atelier où l'on exécutait des compas, des cadrans solaires, et quelques appareils de physique. Quatre années après, on l'avait envoyé à Londres, chez un constructeur d'instruments de navigation. Mais la faiblesse de sa santé et une grave maladie qu'il avait contractée en travaillant pendant toute une journée d'hiver près de la porte de l'atelier, l'avaient obligé de quitter Londres. Pour essayer les effets de l'air natal, il était revenu en Écosse, et s'était rendu à Glascow avec l'intention d'y exercer la profession de constructeur d'appareils de mathématiques. Mais la corporation d'arts et métiers de la ville, s'appuyant sur d'antiques priviléges, s'était obstinément opposée à ce qu'il ouvrît à Glascow le plus humble atelier. Le jeune artiste se trouvait donc dans une situation assez pénible, lorsque l'université intervint en sa faveur, et, pour terminer la difficulté, lui accorda le titre de son constructeur d'appareils de physique. Elle lui permit d'ouvrir une petite boutique dans un local de ses bâtiments. Il fut convenu que, tout en s'occupant de réparer ou de construire les appareils de l'université, il pourrait travailler pour le public aux divers objets de sa profession. Le nom qui fut inscrit sur l'humble enseigne de sa pauvre boutique était

alors profondément inconnu, mais il était destiné à traverser les siècles : c'était celui de *James Watt*.

CHAPITRE VIII

James Watt. — Ses découvertes concernant la machine à vapeur. — Ses expériences théoriques. — Découverte du condenseur isolé. — Machine à simple effet. — James Watt et le docteur Roebuck. — Association de Boulton et de Watt. — Nouvelles découvertes de Watt pour l'application de la machine à vapeur aux usages généraux de l'industrie. — Machine à double effet. — Parallélogramme articulé. — Application de la manivelle à la transformation du mouvement. — Régulateur à force centrifuge. — Découverte de la détente de la vapeur.

En arrachant le jeune Watt aux tracasseries de ses confrères, les professeurs de Glascow croyaient seulement s'être attaché un ouvrier adroit et d'un commerce agréable ; mais ils ne tardèrent pas à reconnaître qu'ils avaient mis la main sur un homme supérieur. Les brillantes qualités intellectuelles du fabricant de l'université furent promptement appréciées, et bientôt son étroite boutique devint le lieu préféré où se rencontrait chaque jour tout ce que Glascow pouvait réunir d'hommes instruits et d'élèves studieux. L'un de ses contemporains, le docteur Robison, va nous faire connaître le rôle que jouait le jeune ouvrier mécanicien dans ce cercle de talents distingués :

« Quoique élève encore, dit l'auteur du *Philosophical Magazine*, j'avais la vanité de me croire assez avancé dans mes études favorites de mécanique et de physique, lorsqu'on me présenta à Watt. Aussi, je l'avoue, je ne fus pas médiocrement mortifié en voyant à quel point le jeune ouvrier m'était supérieur. Dès que, dans l'université, une difficulté nous arrêtait, et cela quelle

qu'en fût la nature, nous courions chez notre artiste. Une fois provoqué, chaque sujet devenait pour lui un texte d'études sérieuses et de découvertes. Jamais il ne lâchait prise qu'après avoir entièrement éclairci la question proposée, soit qu'il la réduisît à rien, soit qu'il en tirât quelque résultat net et substantiel. Un jour la solution désirée sembla exiger la lecture de l'ouvrage de Leupold sur les machines : Watt apprit aussitôt l'allemand. Dans une autre circonstance, et pour un motif semblable, il se rendit maître de la langue italienne... La simplicité naïve du jeune ingénieur lui conciliait sur-le-champ la bienveillance de tous ceux qui l'approchaient. Quoique j'aie assez vécu dans le monde, je suis obligé de déclarer qu'il me serait impossible de citer un second exemple d'un attachement aussi sincère et aussi général, accordé à quelque personne d'une supériorité incontestée. Il est vrai que cette supériorité était voilée par la plus aimable candeur, et qu'elle s'alliait à la ferme volonté de reconnaître libéralement le mérite de chacun. Watt se complaisait même à doter l'esprit inventif de ses amis de choses qui n'étaient souvent que ses propres idées présentées sous une autre forme (1). »

Les choses en étaient là, lorsque, dans l'hiver de l'année 1763, le professeur de physique de la classe de philosophie naturelle du collége de Glascow envoya à James Watt un modèle de la machine de Newcomen, avec prière de le réparer. A cette époque, le développement considérable que l'industrie commençait à prendre en Angleterre avait répandu dans tous les esprits le goût des connaissances scientifiques, et dans la plupart des universités on avait eu la bonne pensée de seconder ces dispositions en adjoignant aux études littéraires l'exposition des éléments de la mécanique appliquée. Le collége de Glascow possédait, à cet effet, la collection des principales machines en usage dans l'industrie, et l'on voyait figurer dans ses galeries un très-beau modèle de la machine de Newcomen. Mais, en raison de certains défauts de construction, ce modèle n'avait jamais pu bien

(1) Arago, *Éloge historique de James Watt*, p. 266.

fonctionner, et le professeur Anderson chargea le jeune constructeur de l'université de le mettre en état de servir aux démonstrations du cours. Telle fut la circonstance qui amena James Watt à s'occuper pour la première fois de la machine à vapeur, dans laquelle, nouveau Christophe Colomb, il devait découvrir tout un monde.

James Watt se mit à réparer la machine du collége de Glascow, mais quand tout fut terminé et qu'il essaya de la faire fonctionner, il reconnut qu'elle pouvait à peine soulever le piston. En augmentant l'activité du feu, on obtenait quelques oscillations, mais alors il fallait employer, pour condenser la vapeur, une énorme quantité d'eau froide. Ce défaut tenait à un vice de proportion entre les dimensions du cylindre et celles de la chaudière : celle-ci était trop petite relativement à la capacité du corps de pompe, et elle ne pouvait fournir qu'une quantité de vapeur insuffisante pour mettre le piston en jeu. Watt diminua la longueur du cylindre, et dès lors la machine put marcher avec une certaine régularité.

Mais il y avait dans cet appareil d'autres défauts beaucoup plus sérieux et qu'il était impossible de faire disparaître au moyen d'un raccommodage, parce qu'ils tenaient au principe même sur lequel reposait tout son mécanisme. La pompe à feu de Newcomen présente un vice de la dernière gravité. Lorsque l'eau d'injection afflue dans le corps de pompe, elle condense immédiatement la vapeur qui le remplit, ce qui permet à l'atmosphère, pesant sur la tête du piston, de le précipiter jusqu'au bas de sa course; mais l'eau froide, une fois en contact avec les parois du cylindre échauffées par la vapeur, les refroidit aussitôt, et lorsque ensuite une nouvelle quantité de vapeur arrive sous le piston pour le soulever, cette vapeur est nécessairement ramenée en partie à l'état liquide en touchant les parois froides du cylindre. Une grande partie de la vapeur envoyée par la chaudière est donc

perdue, puisqu'elle est uniquement employée à réchauffer le corps de pompe. James Watt constata que le modèle de Glascow usait, à chaque oscillation du piston, un volume de vapeur plusieurs fois supérieur au volume du cylindre, ce qui amenait la perte de la moitié du combustible employé. Un second défaut inhérent à la machine de Newcomen, c'est que l'eau injectée dans le corps de pompe pour y condenser la vapeur, s'échauffait elle-même en s'emparant du calorique latent de la vapeur condensée; dès lors cette eau échauffée fournissait des vapeurs, ce qui rendait le vide imparfait. La résistance que le piston rencontrait dans la machine de Glascow, par suite de cette dernière circonstance, était équivalente, selon James Watt, au quart de la pression atmosphérique.

Après avoir reconnu les vices de la machine de Newcomen, Watt pensa qu'il ne serait pas impossible de parer à ces défauts. Mais pour réaliser les perfectionnements dont cet appareil lui semblait susceptible, il fallait commencer par en fixer la théorie avec exactitude. C'est dans ce but que le jeune artiste se décida à entreprendre une série d'expériences relatives à la théorie des divers phénomènes sur lesquels repose l'emploi de la vapeur dans la pompe à feu. Il détermina donc, par expérience, la quantité de vapeur que fournit un poids donné de charbon dans une machine de Newcomen. Il rechercha ensuite, d'une manière générale, le volume de vapeur que produit un certain volume d'eau porté à l'ébullition, et il reconnut ainsi qu'un volume d'eau liquide fournit environ 1 700 volumes de vapeur. Ce fut en se servant de simples fioles à l'usage des pharmaciens, que Watt parvint à fixer ce chiffre important, que les expériences des physiciens modernes, exécutées avec toute la précision et la rigueur de nos méthodes actuelles, n'ont pu que légèrement modifier. Watt détermina également la quantité de chaleur mise en liberté par la

condensation d'un certain volume d'eau, et c'est ici que la théorie de Black sur la chaleur latente lui devint d'une haute utilité. Étonné de la grande quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre de Newcomen pour y condenser la vapeur, et frappé de la chaleur considérable que cette eau empruntait au faible volume de vapeur contenu dans le cylindre, il cherchait inutilement à s'expliquer la cause de ce phénomène :

« J'en parlai alors, dit-il, à mon ami le docteur Black, « qui me développa à cette occasion sa doctrine du *calori-* « *que latent*, dont il avait conçu l'idée quelques années au- « paravant. Absorbé moi-même par mes travaux et mes « propres recherches, j'avais pu entendre parler de cette « nouvelle doctrine sans y donner toute l'attention qu'elle « méritait, jusqu'au moment où je me vis ainsi arrêté de- « vant l'un des principaux faits sur lesquels repose cette « admirable théorie (1). »

Guidé par les vues de Joseph Black, Watt put déterminer la quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre d'une pompe de Newcomen de dimensions connues, pour obtenir une condensation parfaite, et le volume de vapeur qu'une pareille machine dépense à chaque oscillation du piston. Enfin, comme la force élastique de la vapeur s'accroît avec la température, il essaya, sans prétendre cependant résoudre en entier une question si difficile, de déterminer la force élastique de la vapeur correspondante à chaque degré du thermomètre.

Ainsi le pauvre fabricant d'instruments de l'université de Glascow se trouvait sérieusement engagé dans le grand problème du perfectionnement de la machine de Newcomen, question qui commençait alors à occuper un grand nombre d'ingénieurs distingués. En effet, malgré tous ses défauts

(1) Addition de Watt à l'article *Steam Engine* du *Philosophical Magazine* de Robison, t. II, p. 117.

et la dépense énorme de combustible qu'elle entrainait, la pompe de Newcomen était déjà très-répandue en Angleterre. Employée dans un grand nombre de mines de houille à l'épuisement des eaux, elle y remplaçait les moteurs anciennement en usage, et elle avait contribué à faire sortir cette branche de l'industrie britannique de l'état précaire où elle avait longtemps langui. Il était donc facile de prévoir de quelle importance serait, pour l'avenir du pays, une modification de cette machine qui, tout en ajoutant à la puissance de ses effets, permettrait d'économiser une grande partie du combustible. Watt embrassa d'un coup d'œil toute la portée de la tâche qu'il allait entreprendre; mais les travaux de sa profession absorbaient la plus grande partie de ses moments et l'empêchaient de suivre ses expériences avec l'attention et les soins nécessaires; il prit donc la résolution de se consacrer tout entier à l'étude expérimentale de la machine à vapeur.

Une circonstance nouvelle le décida à hâter l'exécution de ce projet. Il s'occupait avec ardeur des travaux de son atelier, pour venir en aide à sa famille, que de nouveaux revers venaient de réduire à un état voisin de la misère. La seule distraction qu'il se permettait, c'était de se rendre, le dimanche, dans une maison de campagne située aux environs de Glascow, et habitée pendant la belle saison par un de ses oncles, M. Miller. Or, M. Miller avait une fille de dix-huit ans. James Watt s'éprit de la jeunesse, des charmes et des qualités aimables de sa cousine, et sa demande ayant été agréée, il épousa miss Miller en 1764.

Cette union, en lui assurant une certaine aisance, le détermina à fermer le petit atelier qu'il occupait dans les bâtiments de l'université de Glascow. Il s'établit dans l'intérieur de la ville, avec l'intention d'y exercer la profession d'ingénieur civil, et de s'occuper en même temps de ses recherches sur le perfectionnement de la machine de Newco-

men. Les heureuses qualités de miss Miller exercèrent sur les travaux de James Watt la plus heureuse influence. Quoique doué au suprême degré du génie de la mécanique, le célèbre constructeur avait dans le caractère une indolence assez marquée. Celui qui, sur la fin de sa carrière, disait : « Je n'ai connu que deux plaisirs, la paresse et le sommeil, » avait besoin de ce doux et secret empire qu'exerce le cœur d'une femme aimée pour réveiller et tenir en haleine son insoucieux génie. Cette influence ne tarda pas à se manifester, car ce fut en 1765, un an après son mariage, que Watt, donnant enfin un corps aux idées qui depuis longtemps flottaient dans son esprit, réalisa la première et peut-être la plus importante de ses découvertes, celle du *condenseur isolé*.

On a vu que le vice capital de la machine de Newcomen consistait dans la nécessité de refroidir et de réchauffer alternativement le cylindre pour y opérer la condensation de la vapeur : le refroidissement du corps de pompe, par suite de l'injection d'eau froide, faisait perdre l'effet utile des trois quarts du combustible employé. Le problème, regardé jusque-là comme insoluble par tous les ingénieurs, de condenser la vapeur sans refroidir le corps de pompe, fut complétement résolu, grâce à l'idée admirable qui vint à l'esprit de James Watt, de condenser la vapeur dans un vase isolé, séparé du cylindre et ne communiquant avec lui que par un tube. On conçoit, en effet, que si, au moment où le corps de pompe est rempli de vapeur, on ouvre tout à coup une issue à cette vapeur, à l'aide d'un robinet qui lui donne accès dans un vase continuellement entretenu à une basse température par un courant d'eau froide, toute la vapeur se précipitera dans l'intérieur de ce vase en raison de son expansibilité; le vide sera même obtenu de cette manière beaucoup plus promptement, car la condensation de la vapeur appellera presque instantanément dans le second vase toute la

vapeur qui remplissait le corps de pompe. Ainsi la condensation pourra s'opérer sans que jamais le cylindre soit refroidi; une économie considérable de vapeur, et par conséquent de combustible, sera du même coup réalisée. L'appareil qui remplit cet important objet porte le nom de *condenseur*.

Mais il restait une autre difficulté, c'était de se débarrasser de la grande quantité d'eau employée pour refroidir le condenseur. Watt la surmonta en établissant, dans l'intérieur de ce vase, une pompe à eau mue par le balancier de la machine elle-même, et qui épuisait l'eau à mesure qu'elle avait servi à opérer la condensation. On perdait ainsi une notable partie de la force de la machine qui était employée à faire jouer la pompe; mais la perte était peu de chose relativement à celle que déterminait auparavant la condensation d'une grande partie de la vapeur sur les parois refroidies du cylindre.

Par l'addition du condenseur isolé, Watt apportait à la machine de Newcomen une modification capitale : il y diminuait de plus de moitié la dépense du combustible. Mais la machine ainsi modifiée reposait encore sur le même principe : c'était toujours la *machine atmosphérique*, dans laquelle la force motrice était fournie par le seul poids de l'air s'exerçant sur la tête du piston. Par une invention postérieure, Watt changea complétement le principe moteur de cette machine. Bannissant toute intervention de la pression atmosphérique, il fit dépendre uniquement ses effets de la force élastique de la vapeur.

Quelques détails sont nécessaires pour faire comprendre cette disposition nouvelle, qui diffère complétement du système de Newcomen. La figure suivante permettra d'expliquer comment la force élastique de la vapeur fut mise à profit dans ce nouveau système, qui a reçu de nos jours le nom de *machine à simple effet*.

Le cylindre B est fermé à sa partie supérieure par un couvercle métallique percé d'une ouverture garnie d'étoupes grasses et bien pressées, de manière à laisser librement monter et descendre la tige du piston, en interceptant tout passage à la vapeur et à l'air extérieur. La vapeur qui arrive de la chaudière par un large tuyau E s'introduit par l'ouverture C dans le haut du cylindre; là, exerçant sa pression sur la face supérieure du piston, elle le fait descendre jusqu'au bas de sa course. Comme le vide existe dans la partie inférieure du cylindre, par suite de sa libre communication avec le condenseur, aucune résistance ne peut s'opposer à l'abaissement du piston. Si maintenant, au moment où le piston est arrivé au bas du corps de pompe, on ferme les soupapes G et C, et que l'on ouvre la soupape H, on met en communication le haut et le bas du cylindre; la vapeur, qui auparavant n'occupait que la partie supérieure du cylindre, peut communiquer librement, à l'aide du tuyau HK et de l'ouverture D, avec sa partie inférieure : ainsi le piston, qui tout à l'heure ne se trouvait pressé que par sa face supérieure, se trouve maintenant soumis sur ses deux faces à une égale pression. Or, comme celle de Newcomen, la ma-

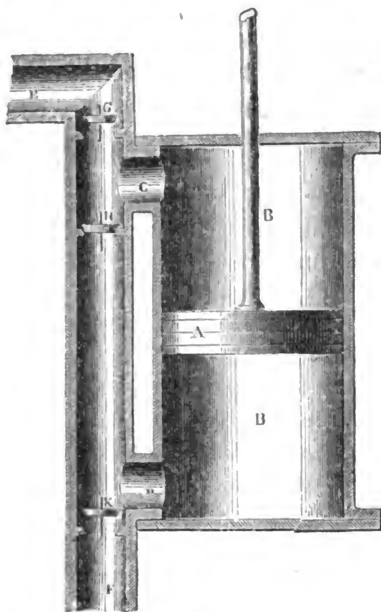


Fig. 10.

chine à simple effet porte un balancier dont le poids est augmenté par l'addition d'une masse pesante, ainsi qu'on le voit dans la figure de la machine de Newcomen (page 113); ces poids soulèvent le piston et le ramènent jusqu'au haut de sa course. On comprend que si l'on ferme maintenant la soupape H de manière à ne permettre à la vapeur que d'arriver à la partie supérieure du cylindre, tandis que la soupape K, ouverte, laisse écouler la vapeur dans le condenseur, la force élastique de la vapeur doit précipiter de nouveau le piston à la partie inférieure du corps de pompe. Si alors on fait de nouveau communiquer entre elles les capacités supérieure et inférieure du corps de pompe par l'action de la même cause, le même effet recommence, le piston remonte pour s'abaisser de nouveau, etc. Ainsi le simple jeu de ces trois soupapes provoque le mouvement continu de la tige du piston.

Par ce nouvel et ingénieux emploi de la force élastique de la vapeur d'eau, Watt créa, on peut le dire, la véritable machine à vapeur. La machine de Newcomen ne méritait, à proprement parler, que le nom de *machine atmosphérique;* car la pesanteur de l'air était le seul élément auquel sa force fût empruntée. Pour la première fois on tirait la puissance motrice de la seule force élastique de la vapeur.

Les expériences multipliées auxquelles il devait se livrer pour arriver à de si importants résultats, Watt les exécutait dans un modeste atelier installé au rez-de-chaussée de sa maison, avec le secours d'un petit nombre d'ouvriers, confidents discrets de ses espérances et de ses travaux. Le modèle dont il se servit pour essayer le jeu des divers organes de sa machine, consistait en un cylindre de cuivre de moins de deux pouces de diamètre auquel une chaudière fournissait de la vapeur, qui s'introduisait, à l'aide d'un tube bifurqué, au-dessus et au-dessous de la tête du piston. Les robinets se tournaient à la main. Le condenseur était simplement formé

de deux tuyaux d'étain de dix pouces de longueur, disposés verticalement, et venant aboutir à un tuyau d'un diamètre plus grand qui plongeait dans un bassin d'eau froide. Pour juger définitivement le jeu des divers organes de sa machine, Watt la fit exécuter en grand avec tous les éléments nouveaux qu'il avait imaginés.

C'est à cette occasion qu'il fit pour la première fois usage de l'enveloppe de bois entourant le cylindre, communément appelée *chemise du corps de pompe,* et qui a pour effet de prévenir les pertes de chaleur que le cylindre éprouve par suite de son rayonnement dans l'air. Par cet artifice, il parvint à diminuer encore très-sensiblement la dépense du combustible.

Ainsi la machine à vapeur était désormais complète. A la machine atmosphérique, dont les découvertes de Torricelli, de Pascal et d'Otto de Guericke avaient fait naître l'idée, que le génie de Papin et la sagacité de Newcomen avaient transportée dans la pratique, Watt substituait une machine infiniment supérieure par l'intensité de ses effets, et qui devait son principe à la seule force de la vapeur d'eau. Sous le rapport de la puissance et de l'économie, les avantages de ce nouveau moteur étaient de nature à dépasser toutes les espérances. Il ne restait donc plus qu'à le transporter dans la pratique industrielle. Mais Watt n'avait aucune des qualités nécessaires pour faire comprendre à des capitalistes obligés, par état, à beaucoup de défiance, toute la portée d'une invention nouvelle. Assez insouciant par caractère, il détestait l'exagération de promesses qui sont familières aux inventeurs de tous les rangs. D'ailleurs il n'était pas encore entièrement satisfait des résultats qu'il avait obtenus; il rêvait des perfectionnements nouveaux, et répugnait à faire connaître ses idées avant d'avoir produit tout ce qu'il en espérait. Enfin les périls des entreprises industrielles avaient de quoi effrayer la

timidité de son esprit; il hésitait à risquer ses faibles ressources sur cette mer trop fertile en naufrages. Une circonstance fortuite put seule le décider à céder aux instances de ses amis.

Quoique voué tout entier aux travaux de son art, Watt était cependant assez répandu dans le monde, où le faisaient rechercher ses qualités agréables et la gaieté de son humeur. Nourri de bonne heure de toute espèce de lectures, doué d'une mémoire prodigieuse, d'une parole facile et d'une imagination intarissable, il n'avait pas tardé à acquérir à Glascow la réputation d'un causeur accompli. Aussi sa maison était-elle le rendez-vous de tous les personnages distingués de la cité. Outre son ami le docteur Black, on trouvait chez lui : Adam Smith, le célèbre auteur des *Recherches sur la cause de la richesse des nations ;* Robert Simson, le patient restaurateur des ouvrages mathématiques des anciens, et divers littérateurs ou artistes qui aimaient à jouir des charmes et des profits de sa conversation. C'est par là que le docteur Roebuck fut amené à lier quelques relations avec James Watt.

Roebuck, riche gentilhomme anglais, fondateur de la célèbre usine de Carron, se distinguait du reste des capitalistes par son esprit et sa bonne humeur. Il fut présenté à Watt et fréquenta sa maison. Le hasard d'un entretien amena ce dernier à lui communiquer les modifications qu'il avait apportées à la machine de Newcomen. Le capitaliste anglais était lancé à cette époque dans des spéculations assez difficiles pour l'exploitation des mines de houille et des salines de Borrowstones, dans le comté de Linlithgow. Comprenant toute la portée de l'invention de Watt, il lui offrit immédiatement les capitaux nécessaires pour les exploiter : il proposait de se charger de toutes les dépenses, à la condition d'obtenir les deux tiers des bénéfices de l'entreprise. Le marché accepté, James Watt commença à construire à Kinneil, aux environs

de Borrowstones, une pompe à feu qui fut placée à l'entrée d'un puits de mine, pour y servir à l'épuisement des eaux. Comme cette machine n'était qu'une sorte de dernier essai, Watt lui fit subir différentes modifications, jusqu'à ce qu'elle eût atteint un haut degré de perfectionnement. Pour s'assurer alors la propriété exclusive de ses inventions, il s'occupa d'obtenir un brevet qui lui assurât le privilége de la construction des machines à vapeur modifiées. Ce brevet lui fut accordé en 1769.

James Watt se disposait à créer un vaste établissement pour la construction des machines à vapeur, lorsque, à la suite de spéculations manquées, la fortune du docteur Roebuck vint à recevoir de graves atteintes qui l'obligèrent d'abandonner cette entreprise. Watt, envers qui il se trouvait débiteur d'une somme assez importante, eut la générosité de rompre l'association et de le libérer de tout engagement. Ensuite, avec une modestie, une sérénité admirables, ce dernier reprit paisiblement le cours de ses occupations d'ingénieur. Pendant quatre ans il se consacra exclusivement aux travaux de cette profession. Il traça les plans et dirigea la construction d'un canal destiné à porter à Glascow le charbon des mines de Monkland. Il dressa les projets de divers autres canaux, et se livra à des études relatives à certaines améliorations des ports d'Ayr, de Glascow et de Greenock. Il construisit les ponts d'Hamilton et de Rutherglen, et s'occupa enfin de l'exploration des terrains à travers lesquels devait passer le canal Calédonien. L'homme de génie, à qui le monde allait devoir, dans un délai prochain, les plus brillantes créations de la mécanique moderne, ne dédaignait pas de s'employer aux plus médiocres travaux d'un conducteur des ponts et chaussées.

Un coup terrible, qui vint le frapper à cette époque, contribua encore à éloigner de son esprit les grands projets qui l'avaient un instant séduit. Pendant qu'il se trouvait retenu

dans le nord de l'Écosse, il eut la douleur de perdre sa douce et tendre compagne. Tout entier à ses regrets, Watt n'accordait plus une seule pensée à ses premiers travaux ; il semblait avoir oublié qu'il tenait dans ses mains la richesse future et presque les destinées de son pays. Heureusement ses amis ne l'oubliaient pas.

En 1775, on réussit enfin à triompher de ses répugnances, et on le décida à se mettre en rapport avec le célèbre industriel Mathieu Boulton (de Birmingham). Boulton possédait le génie de l'industrie autant peut-être que Watt celui de la mécanique; il avait la réputation du plus riche, du plus habile et du plus entreprenant manufacturier de l'Angleterre. L'établissement qu'il avait fondé peu d'années auparavant à Soho, près de Birmingham, pour la fabrication de toutes sortes d'ouvrages de fer, d'acier, d'argenterie et de plaqué, était un des plus importants et des mieux tenus du royaume. A peine eut-il connaissance des modifications apportées à la machine à vapeur par l'ingénieur de Glascow, qu'il en devina tout l'avenir et n'hésita pas à mettre sa fortune entière à la disposition de l'inventeur. Il passa avec James Watt un acte d'association, et fit aussitôt construire une première machine de proportions considérables qui fut établie dans son usine de Soho, afin que le public pût être témoin de ses effets. Mais le brevet d'exploitation, pris en 1769 par James Watt, n'avait plus que quelques années à courir ; on s'adressa donc au parlement pour en obtenir la prolongation. Grâce au crédit et à l'activité de Boulton, le parlement consentit, non cependant sans de longues difficultés, à prolonger le privilége.

En 1775, contrairement aux dispositions qui régissent les brevets, on accorda à Boulton et à Watt un nouveau privilége de vingt-cinq ans de durée « en considération du mérite éminent des inventions de l'auteur, » attesté par les savants les plus recommandables de Londres. Boulton et Watt

purent alors se lancer hardiment dans la carrière brillante qui s'ouvrait devant eux.

Par le genre particulier et surtout par la diversité de leur esprit, Boulton et Watt semblaient avoir été, chacun de son côté, créés tout exprès pour mener à bien une entreprise de cette nature.

« M. Watt, dit Playfair, était réservé, studieux et fuyant le monde; au lieu que M. Boulton était un homme remuant, actif, intelligent, très-répandu dans la haute société, et cependant ennemi des façons et sachant se mettre à l'aise avec les hommes de toutes les classes. Quand M. Watt aurait cherché par toute l'Europe, il n'aurait pu trouver personne aussi propre à produire ses inventions d'une manière aussi digne de leur mérite et de leur importance. Quoique tous deux fussent de mœurs tout à fait différentes, il semblait que le ciel les eût faits l'un pour l'autre, car on ne vit jamais, dans le commerce ordinaire de la vie, plus d'harmonie qu'il n'en régnait entre ces deux hommes (1). »

Le brevet obtenu, Boulton convertit une partie de son établissement de Soho en ateliers consacrés à la fabrication des machines à vapeur. On fit constater par des expériences authentiques, exécutées sous les yeux des propriétaires et des actionnaires des mines, l'économie réalisée par la nouvelle pompe à feu installée à Soho ; il fut reconnu qu'à égalité d'effet, elle réduisait des trois quarts la dépense du combustible consommé par la machine de Newcomen. Bientôt, grâce au système établi par Boulton pour l'exécution des différentes pièces mécaniques, plusieurs machines à feu, destinées à l'épuisement des mines, se trouvèrent construites et prêtes à fonctionner. C'est alors que l'on fut témoin, en Angleterre, d'un phénomène industriel qui probablement ne se reproduira jamais, et qui faisait également honneur à l'audace du spéculateur et au génie du mécanicien. Boulton et Watt ne

(1) *Memoirs by Playfair* (*Monthly Magazine*, 1819).

vendaient pas leurs machines, ils les donnaient à qui voulait les prendre, ils se chargeaient même de les monter et de les entretenir à leurs frais; quant aux anciennes machines de Newcomen, on les reprenait à un prix bien au-dessus de leur valeur. Boulton avança de cette manière jusqu'à 47 000 livres sterling (1 175 000 fr.) avant de songer à effectuer une seule rentrée. Toute la redevance qu'il réclamait des propriétaires des mines, c'était *le tiers de la somme annuellement économisée sur le combustible.*

En présence de telles conditions, les propriétaires des mines ne pouvaient hésiter longtemps. Les machines de Watt commencèrent à être adoptées dans le Cornouailles, où le prix du charbon les rendait doublement précieuses. Elles se répandirent de là dans la plupart des comtés houillers de l'Angleterre, et les associés commencèrent à réaliser d'importants bénéfices. En effet, la combinaison imaginée par Boulton, avec toutes les apparences d'une générosité exemplaire, avait pour résultat de porter le prix des machines à un taux exorbitant. On en jugera par un exemple. Dans les mines de Chacewater, où l'on employait trois pompes à feu, les propriétaires payaient annuellement à Boulton et Watt, pour le tiers du combustible économisé, la somme de 60 000 francs (1).

(1) « Afin d'obtenir, dit Robert Stuart, des données positives pour « l'évaluation de cette espèce de tribut, une série d'expériences fut en- « treprise par des hommes d'une habileté et d'une probité reconnues. « Étant donnés la profondeur de la mine, le diamètre des corps de « pompe, et le nombre des coups de piston avec une machine quel- « conque, ordinaire ou perfectionnée, il ne leur restait plus qu'à appré- « cier l'économie de combustible pendant un certain nombre de coups « de piston, et ce prix devenait la base sur laquelle ils établissaient « leurs calculs. Pour compter le nombre des coups de piston, on adapta « au balancier un petit appareil consistant en un système de roues enfer- « mées dans une boîte disposée de façon que chacun des mouvements « ascendants ou descendants du balancier faisait avancer d'un pas les « petites roues, ainsi qu'un petit index qui indiquait cette progression. « Ce petit appareil s'appelait le *compteur*. Deux clefs seulement pouvaient

Les propriétaires des mines, qui d'abord avaient accepté cette combinaison avec reconnaissance, ne purent se résigner longtemps à voir les associés toucher des droits si élevés. Ils ne considéraient pas que le tribut qu'ils payaient annuellement n'était que la moitié de la somme qu'ils consacraient autrefois à l'achat du combustible. On mettait de jour en jour plus de répugnance à s'acquitter, et bientôt des procès nombreux vinrent menacer sérieusement le sort de l'entreprise de Boulton. On s'appuyait sur de prétendus perfectionnements apportés aux appareils de Watt, pour se déclarer affranchis de toute redevance; on allait fouiller les bibliothèques pour y découvrir des titres d'antériorité contre lui et demander la déchéance de ses brevets. Le grand argument consistait à prétendre que Watt avait été bien suffisamment rétribué de ses peines, pour un homme qui, en fin de compte, n'avait inventé que des idées. C'est ce qui amena devant le tribunal cette apostrophe d'un avocat: « Allez, messieurs, allez vous frotter à ces prétendues idées « abstraites, à ces combinaisons intangibles, ainsi qu'il vous « plaît d'appeler nos machines; elles vous écraseront comme « des mouches, elles vous lanceront dans les airs à perte de « vue! »

Cependant l'imperfection que présentait à cette époque la loi anglaise concernant les brevets, laissait une large prise à la mauvaise foi et à la fraude. Il régnait, en outre, dans l'esprit des juges, beaucoup de préventions et de défiance

« l'ouvrir, dont l'une restait entre les mains des propriétaires de la ma- « chine, l'autre dans celles de MM. Watt et Boulton, qui avaient un « commis-voyageur chargé de reconnaître de temps à autre la situation « des choses. On ouvrait en présence des deux parties les *compteurs*, « et le tribut à prélever se trouvait déterminé par le nombre des coups « de piston donnés. Ce prélèvement annuel, toutefois, pouvait être ra- « cheté par le payement d'une somme une fois donnée, égale au produit « de dix années. Il y avait différentes manières de disposer le compteur « et de le faire marcher. » (*Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 190.)

contre les brevetés; Leurs Seigneuries déployaient un zèle et une ardeur infatigables pour découvrir des vices de forme dans les brevets de James Watt, et pour chercher dans le texte d'anciennes lois des dispositions opposées à son privilége. Aussi, en dépit de l'évidence de leurs droits, Watt et Boulton furent-ils battus en cours de justice.

Cet échec était grave : il redoublait l'audace et les prétentions des plagiaires. Des capitalistes qui n'auraient pas osé enfreindre ouvertement les brevets de Watt, encouragés par ce premier succès, s'employaient activement à faire délivrer à des hommes sans crédit des brevets nouveaux spécifiant quelque modification insignifiante; puis, armés de ces pièces suspectes, ils venaient battre en brèche, devant le tribunal, les réclamations des associés. Ces difficultés chaque jour renaissantes, et qui devenaient de plus en plus compliquées, auraient été de nature à déconcerter un autre homme que Watt. Mais il était sorti vainqueur, durant sa vie, de combats plus difficiles; il ne recula pas devant ces luttes nouvelles. Il se décida à abandonner pour quelque temps la surveillance de ses ateliers, et se rendit à Londres pour y mener, au milieu des gens d'affaires et des hommes de justice, l'existence agitée du plaideur. Pendant huit années consécutives, le génie du grand mécanicien fut détourné de sa voie naturelle, et dans ce long intervalle, il eut, malheureusement pour nous tous, le temps de devenir un légiste accompli. Le succès vint enfin couronner ses efforts, mais l'heure de la justice avait été longue à sonner. Ce ne fut qu'en 1799, trente-cinq ans après ses premières découvertes, que libéré définitivement par une décision de la cour du roi, il fut remis en possession entière de son privilége. Seulement, comme le terme de son brevet expirait l'année suivante, cette satisfaction était presque dérisoire. C'est ce qui faisait dire gaiement à James Watt, qu'il se félicitait d'habiter un pays dans lequel il ne faut que trente-cinq ans de

discussion et une douzaine de procès pour assurer à un citoyen la récompense de son travail.

Vers l'année 1776, à peu près déchargé du trop long ennui des contestations judiciaires, Watt put revenir à ses travaux accoutumés, et dès lors il se voua sans réserve à la solution du problème capital qui depuis plusieurs années ne cessait de se poser dans son esprit. La machine à vapeur n'avait jusque-là servi qu'à l'épuisement de l'eau dans les mines ; il voulait transformer la puissance dont il s'était rendu maître en un moteur susceptible de recevoir toutes les applications que peut exiger l'industrie ; il avait créé la *pompe à feu*, il fallait créer le moteur universel. Ce grand problème, son génie devait le résoudre de la manière la plus absolue dans son principe général et dans ses détails les plus délicats, grâce à une série de découvertes dont il nous reste à exposer les éléments.

On a vu que dans la *machine à simple effet* (page 139), dans laquelle Watt substituait à la pression atmosphérique la seule puissance de la vapeur, l'action motrice ne s'exerce réellement que pendant l'abaissement du piston ; l'oscillation ascendante est simplement déterminée par le contre-poids attaché au balancier qui fait remonter le piston, lorsque la pression de la vapeur est rendue égale sur ses deux faces. Il y avait donc dans le jeu de cette machine une interruption d'action manifeste. Cet inconvénient n'avait qu'une faible importance quand il ne s'agissait que d'élever les eaux ; l'exploitation des mines pouvait parfaitement se contenter d'une telle disposition. Mais pour l'application de la machine à vapeur à tous les usages de l'industrie, ce défaut n'était aucunement tolérable. Le travail égal et continu des manufactures exigeait que la force motrice pût s'exercer aussi bien pendant l'ascension que pendant la chute du piston ; il fallait obtenir de la machine à vapeur une continuité d'effet.

Watt parvint à atteindre cet important résultat par le moyen suivant : au lieu de se borner à faire agir la vapeur sur la tête du piston, il la dirigea alternativement au-dessus et au-dessous de celui-ci, de manière à provoquer par la seule action de la vapeur son élévation et sa chute. Il établit les communications entre le cylindre et le condenseur, de telle sorte que la vapeur contenue dans la capacité située au-dessus du piston s'écoulait dans le condenseur au moment même où le piston était arrivé au bas de sa course : dès lors la vapeur, arrivant au-dessous du piston pour le soulever, ne rencontrait aucune résistance capable de contrarier son effet, puisque par suite de la condensation de la vapeur qui remplissait naguère la partie supérieure du cylindre, un vide parfait existait dans cette capacité.

Cette nouvelle disposition de la machine à vapeur rendait son mécanisme parfait ; les contre-poids énormes que l'on avait employés jusque-là pour équilibrer le piston devenaient ainsi inutiles, et pour la première fois on put débarrasser la machine de ces lourdes masses qui formaient le balancier de Newcomen. On put également faire disparaître les quantités considérables de fer ou de bois que l'on employait dans la construction de certaines pièces de la machine pour adoucir ses mouvements. La *machine à double effet* exécute dans le même temps le double d'ouvrage que la machine à simple effet ; mais elle dépense deux fois plus de vapeur. L'avantage réside donc seulement dans la succession plus rapide de ses effets, circonstance de la plus haute utilité, lorsque la machine est destinée à servir de moteur d'une application universelle.

Pour tirer parti de la force motrice développée par la machine à vapeur ainsi modifiée, il fallait de toute nécessité adopter une manière nouvelle de communiquer au balancier le mouvement du piston. Il est facile de comprendre, en effet, que le moyen employé dans la machine de Newco-

men, dans laquelle la vapeur n'imprime qu'une impulsion de haut en bas, ne pouvait s'appliquer à la machine à double effet, qui fournit une impulsion de haut en bas et de bas en haut. Dans la machine de Newcomen, deux chaînes de fer fixées à ses deux extrémités, comme on le voit dans la figure (page 112), suffisaient pour mettre le balancier en jeu. Dans l'oscillation descendante, le piston tirait le balancier par le secours de la chaîne ; dans l'oscillation ascendante, c'était le balancier ou son contre-poids qui, au moyen de la seconde chaîne, faisait remonter le piston. Mais dans la machine à double effet, la pression de l'air n'entre pour rien, c'est la vapeur seule qui fait monter et descendre le piston. Il fallait donc imaginer un autre procédé pour communiquer au balancier les deux mouvements ascendant et descendant; il fallait, pour cela, faire coïncider le mouvement de l'extrémité du balancier qui décrit un arc de cercle avec le mouvement rectiligne de la tige du piston.

Dans ses premières machines, Watt s'était contenté de garnir la partie de la tige du piston qui s'élève au dehors du corps de pompe, d'une série de dents qui engrenaient dans une roue dentée. Cette crémaillère était le moyen le plus simple pour transmettre le mouvement : mais indépendamment de son peu d'élégance, elle ne manœuvrait qu'avec grand bruit et était sujette à se déranger, surtout quand on voulait imprimer au mouvement une seconde direction. Watt remplaça ce mécanisme trop élémentaire par un appareil plus compliqué et qui porte le nom de *parallélogramme articulé.*

La figure 12 représente les éléments et le jeu de cet ingénieux appareil. ABCD constitue un parallélogramme susceptible de prendre toutes sortes de positions à l'aide de tourillons ou charnières placées à chacun de ses angles. La ligne BE représente un levier rigide, articulé en B avec le parallélogramme, et relié en E à un centre fixe autour du-



quel il peut tourner en décrivant un arc de cercle. L'extrémité de la tige du piston est fixée à l'angle A du parallélogramme. Quand le balancier CF est poussé en haut par l'élévation de la tige du piston à laquelle il est attaché, il tend à se mouvoir suivant la ligne courbe C*a*. Mais la tige EB, à laquelle il est relié par l'intermédiaire du côté DB du parallélogramme tend à l'entraîner dans la direction de la ligne B*b*, du cercle qu'elle décrit. Si la position du centre E est convenablement choisie, il résulte de la combinaison de ces deux mouvements que la tige AC, ou le prolongement de la tige

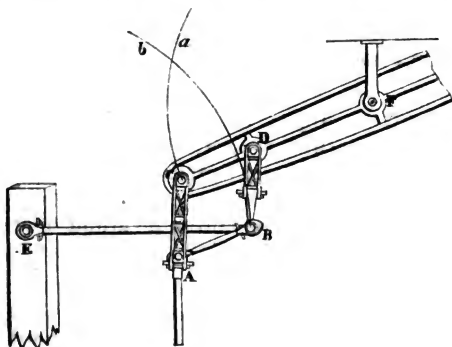


Fig. 11.

du piston, sollicitée suivant les deux directions C*a* et B*b*, suit une direction intermédiaire qui n'est autre chose qu'une ligne à peu près droite AC. Ainsi la partie AC se meut toujours verticalement, et elle agit pour mettre en mouvement le balancier, soit que le piston, en s'élevant, ait pour effet de le pousser en haut, ou qu'en s'abaissant, il ait pour résultat de le tirer en bas.

Tel est le principe du curieux mécanisme imaginé par James Watt, en 1784, pour transmettre au balancier le mouvement du piston. Quelques dispositions différentes ont été

adoptées plus tard pour la construction de cet appareil, mais elles n'ont rien changé au principe sur lequel repose son mécanisme.

La force une fois commodément transmise au balancier, il fallait s'occuper de transformer le mouvement de *va-et-vient* de ce balancier en un mouvement de rotation, propre à faire marcher une roue ou un volant fixés sur l'axe de la machine, et à s'adapter par conséquent à tous les usages auxquels un moteur peut être consacré. Le mécanicien Stewart avait tenté, sans y réussir, d'employer, dans cette vue, des roues à rochet. Watt résolut le problème d'une manière beaucoup plus heureuse, par une simple application de la manivelle du rémouleur.

« Des nombreux projets, dit Watt, qui me passèrent par la tête, aucun ne me parut si propre à me conduire au but que je me proposais d'atteindre, que l'application d'une simple manivelle dans le genre de celle dont se sert le rémouleur, et qu'il fait mouvoir avec le pied : invention de grand mérite et dont on ne connaît ni la date ni le modeste inventeur. »

L'appareil imaginé par Watt pour appliquer la manivelle du rémouleur à la transformation du mouvement rectiligne de la tige du piston en un mouvement rotatoire, donna les meilleurs résultats. Mais il arriva que l'un de ses concurrents, M. Wasbrough, en eut connaissance par suite de l'infidélité d'un ouvrier, et qu'il s'empressa de prendre un brevet spécifiant l'application de la manivelle au mécanisme de la machine à vapeur. Watt avait jugé inutile de prendre un brevet pour un moyen connu depuis un temps immémorial et qui se trouve employé dans tous les rouets des fileuses et dans toutes les roues des rémouleurs. Il aurait sans peine prouvé judiciairement que l'on ne pouvait interdire à personne l'usage d'un artifice aussi banal. Il trouva plus simple d'arriver au même but par une autre voie, et il

inventa l'appareil connu en Angleterre sous le nom *du soleil et des planètes*, assemblage de roues dentées qui réalise un mouvement rotatoire. Mais cet appareil, délicat à construire, coûteux et sujet à se déranger, fut abandonné par Watt dès que l'expiration du brevet de M. Wasbrough lui permit de revenir à l'emploi de la manivelle.

La manivelle et le volant, qui, dans les machines actuelles, servent à transformer le mouvement rectiligne de la tige du piston en un mouvement circulaire, sont représentés dans la figure suivante. B est la bielle ou tige qui descend de l'extrémité du balancier ; elle s'articule avec la manivelle C dont le bras est lié au centre E de la roue ou volant A, et peut tourner avec cette roue. Lorsque le balancier s'abaisse, par suite du mouvement du piston, il abaisse en même temps la manivelle et fait tourner le volant, dont la vitesse acquise le fait élever au-dessus du centre E ; alors le balancier, en se relevant par le second coup de piston, communique son mouvement au volant et lui fait achever de décrire le cercle : un mouvement de rotation continu est donc ainsi produit.

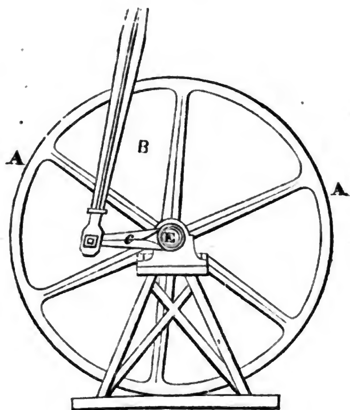


Fig. 12.

Une force considérable et une continuité d'effet ne sont pas les seules conditions que doit réunir une machine destinée à devenir d'un usage général comme moteur. Pour la plupart des industries auxquelles elle doit s'appliquer, la régularité, l'égalité d'action, sont tout aussi importantes

que l'intensité de la force. Or, tout le monde voit que l'effet mécanique produit par la machine à vapeur doit être d'une irrégularité excessive. Le degré de sa puissance dynamique dépend en effet du nombre de coups de piston qu'elle frappe dans un temps donné; or ceux-ci varient nécessairement selon que le feu est activé ou ralenti dans le foyer. Une force qui s'engendre par des pelletées de charbon jetées sous une chaudière, doit naturellement présenter dans son intensité les plus grandes variations. C'est à ce défaut si grave qu'il importait de parer. Voici la simple et admirable disposition que le génie de Watt imagina pour y porter remède.

Admettons que, dans l'intérieur du tuyau destiné à introduire dans le cylindre la vapeur fournie par la chaudière, on dispose une sorte de soupape ou plaque mobile, susceptible de fermer ce tuyau ou de le laisser ouvert, de manière à suspendre ou à rétablir à volonté la communication entre la chaudière et le cylindre; selon que cette plaque mobile sera plus ou moins ouverte, une quantité de vapeur plus ou moins grande sera admise dans le corps de pompe : cette soupape donnera donc le moyen de modérer et de régler le jeu de la machine, puisque, en augmentant ou en diminuant la quantité de vapeur qui arrive dans le cylindre, elle aura pour effet d'augmenter ou diminuer le nombre des coups de piston. Cette soupape, Watt est parvenu, par un artifice des plus ingénieux, à la faire manœuvrer par la machine elle-même ; de telle sorte que, lorsque les mouvements du piston sont trop précipités, la machine ferme en partie cette soupape et réduit ainsi la quantité de vapeur introduite ; si, au contraire, les coups de piston se ralentissent, elle dilate la soupape, et, admettant ainsi dans le cylindre une plus grande quantité de vapeur, elle augmente, dans la proportion nécessaire, l'intensité des effets mécaniques. L'appareil qui sert à obtenir ce curieux et remarquable effet était désigné par James Watt sous le nom de *gouverneur*. Il en

trouva l'idée dans un petit mécanisme employé depuis longtemps dans les moulins à farine pour écarter ou rapprocher les meules et régulariser ainsi leur mouvement.

La figure suivante fera comprendre le jeu de cet appareil de Watt, que l'on désigne aujourd'hui sous le nom de *régulateur à force centrifuge.*

dd est une corde ou une chaîne sans fin qui embrasse une poulie D tournant autour de la tringle verticale DF, qui est elle-même mobile et tourne autour des points fixes I, K.

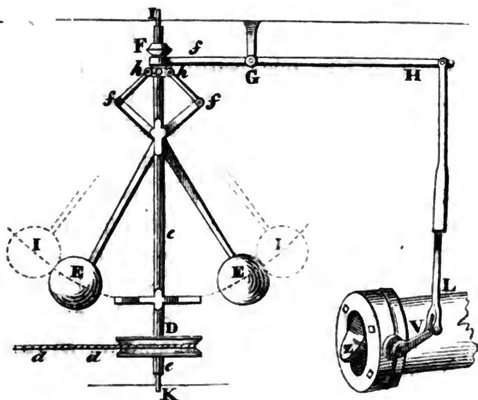


Fig. 13.

EE, sont deux boules métalliques fixées à l'extrémité de deux leviers brisés. Ces leviers sont coudés au point où ils touchent la tringle D, et, au moyen de deux articulations ou charnières *f*,*f*, ils se rattachent à deux autres leviers plus courts *fh*, attachés eux-mêmes à une espèce de cylindre F qui peut glisser librement de haut en bas sur la tringle verticale *e*. Ce petit cylindre est lié lui-même à un levier horizontal FH, qui a son point d'appui en G, et qui porte à son extrémité une bielle ou tige verticale AL, qui fait mouvoir, à l'aide d'une manivelle V, la soupape ou plaque mobile Z

qui est destinée à régler l'entrée de la vapeur dans le cylindre.

Voici maintenant le jeu de ces différentes pièces : lorsque le balancier marche avec le degré de vitesse convenable, les boules de métal, par l'intermédiaire de la corde *dd* qui se trouve liée à l'arbre de la machine, tournent autour de la tringle avec la position représentée dans la figure. Mais si le mouvement vient à s'accélérer, il se transmet à la tringle par la corde de la poulie, et dès lors les globes, entraînés par la force centrifuge, s'écartent et prennent la position représentée par les circonférences pointées I, I. Cet écartement des boules a pour effet nécessaire l'abaissement des petits leviers *fh*, ainsi que du cylindre F et de l'extrémité du levier horizontal FH qui vient y aboutir ; par suite, l'extrémité H de ce dernier levier s'élève, elle entraîne alors dans son mouvement la tige HL qui, au moyen de la manivelle V, ferme en partie la soupape Z, et diminue ainsi la quantité de vapeur introduite dans le cylindre. Si, au contraire, le mouvement de la machine vient à se ralentir, il se produit dans le jeu des mêmes pièces des effets inverses des précédents : les boules, tournant avec moins de rapidité, se rapprochent l'une de l'autre, et, par suite du mouvement des leviers auxquels elles sont liées, la soupape Z s'ouvre davantage et laisse pénétrer dans le corps de pompe une plus grande quantité de vapeur, ce qui accélère aussitôt les mouvements du piston. C'est donc à bon droit que cet ingénieux appareil est désigné sous le nom de *régulateur*.

Telle est l'efficacité de ce curieux mécanisme que, selon Arago, « on voyait, à Manchester, dans la filature de coton « d'un mécanicien de grand talent, M. Lee, une pendule mise « en action par la machine à vapeur, et qui marchait, sans « trop de désavantage, à côté d'une pendule ordinaire à « ressort. »

La dernière des découvertes de Watt est relative à l'em-

ploi de la détente de la vapeur, conception des plus remarquables, dont l'honneur revient tout entier au célèbre mécanicien, bien qu'il n'en ait jamais tiré lui-même grand parti. Quelques explications sont nécessaires pour bien comprendre en quoi consiste le phénomène de la détente de la vapeur, qui fournit dans les machines modernes les résultats les plus remarquables sous le rapport de l'économie du combustible.

Si le robinet qui sert à introduire la vapeur dans le cylindre reste ouvert pendant toute la durée du mouvement ascendant ou descendant du piston, celui-ci arrivera à l'extrémité de sa course avec une vitesse toujours croissante et qui aura pour résultat d'imprimer à toutes les pièces de la machine un choc et un ébranlement fâcheux. Mais si, au lieu de laisser le robinet d'admission ouvert pendant toute la durée de l'oscillation du piston, on le ferme lorsque celui-ci est parvenu seulement au tiers ou à la moitié de sa course, la quantité de vapeur ainsi introduite suffira pour produire le refoulement du piston, car la vapeur, se dilatant dans le vide à la manière d'un gaz, continuera de presser le piston, qui, en raison, d'ailleurs, de sa vitesse acquise, arrivera aisément à l'extrémité de sa course. Ainsi une moindre quantité de vapeur sera employée pour faire marcher le piston. En agissant de cette manière, la vapeur ne pourra pas évidemment produire un effet dynamique aussi puissant que si elle agissait à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston, mais aussi la quantité de vapeur dépensée ne sera que la moitié ou le tiers de celle qu'on aurait employée en opérant à pleine pression. Pour reconnaître si cette disposition présente des avantages, il suffit donc de savoir si, par ce moyen, la dépense du combustible est réduite dans un plus grand rapport que l'effet produit. Or, c'est ce que l'expérience a parfaitement établi.

L'emploi de la vapeur avec détente, introduit aujour-

d'hui dans la plupart de nos machines, a permis de réaliser une économie considérable sur le combustible, et, selon Arago, « de très-bons juges placent la détente, quant à la « dépense économique, sur la ligne du condenseur. » Cependant Watt ne l'a mise en usage que vers 1782, dans un petit nombre de machines, et son but principal, dans l'emploi de ce moyen, était de modérer la vitesse de la chute du piston, et de rendre uniforme le mouvement accéléré qui lui est propre lorsque la vapeur agit à pleine pression. Ce n'est qu'à notre époque que la détente de la vapeur a été utilisée de manière à réaliser les avantages immenses qui résultent de son emploi.

Par cette belle série de découvertes, dont aucune n'avait été le produit du hasard, mais qui résultaient toutes de persévérantes recherches, Watt avait donc résolu le grand problème du moteur universel tant poursuivi depuis un siècle. Un simple ouvrier mécanicien, sans fortune et sans études, s'emparant d'une machine imparfaite, et qui depuis cinquante ans fonctionnait sans progrès notables, l'avait transformée en un agent moteur d'une force presque sans mesure et d'une application illimitée. En raison du principe sur lequel elle repose, sa puissance motrice était incalculable ; grâce aux artifices employés pour en modérer et en régulariser l'action, elle pouvait servir aux usages les plus variés et les délicats. Aussi quelques années suffirent pour répandre en Angleterre ce précieux appareil. Dans les grands centres manufacturiers, tels que Birmingham, Manchester, Liverpool, etc., la machine à vapeur fut appliquée au cardage de la laine et du coton, à la fabrication des draps et de tous les tissus de fil, de coton ou de soie. Par son secours, l'industrie de l'exploitation de la houille ne tarda pas à étendre ses bénéfices dans une proportion extraordinaire. La machine à vapeur fut ensuite employée dans les

usines métallurgiques, pour marteler, laminer le fer, le cuivre et le plomb, pour étirer en fil le fer et l'acier ; on l'appliqua à tous les travaux hydrauliques, au sciage mécanique du bois, à la fabrication du papier, de la porcelaine et de la faïence, à l'impression des livres, à la préparation et au broiement des couleurs destinées à la peinture ; en un mot, à presque toutes les branches de l'industrie britannique.

Un chiffre suffira pour faire connaître l'économie prodigieuse que l'emploi de la machine à vapeur a permis de réaliser dans les opérations industrielles. Selon Arago, un boisseau de charbon brûlé dans les machines à vapeur du Cornouailles produit l'ouvrage de vingt hommes travaillant dix heures. Or, dans les comtés houillers de l'Angleterre, un boisseau de charbon coûte environ 90 centimes. La machine de Watt a donc permis, en Angleterre, de réduire le prix d'une journée d'homme de la durée de dix heures, à moins de 5 centimes de notre monnaie. Après un tel résultat, on est moins surpris d'apprendre que, suivant des relevés authentiques, les machines à vapeur qui existent aujourd'hui en Angleterre remplacent à elles seules le travail de trente millions d'hommes.

CHAPITRE IX

Dernières années de James Watt.

Ces machines admirables qui devaient exercer une influence si extraordinaire sur la prospérité de la nation britannique, Watt les faisait exécuter sous ses yeux dans l'immense établissement de Soho. C'est de là que partaient les puissants appareils qui allaient fonctionner dans les

diverses parties des trois royaumes. La manufacture de Soho, était pour les Anglais une sorte d'école des ponts et chaussées; c'était comme un établissement d'instruction pour les ingénieurs et les mécaniciens de la Grande-Bretagne. Les étrangers s'y rendaient aussi pour étudier le mécanisme des nouvelles machines, et pour en transporter l'usage dans leur patrie. C'est ainsi que Bettancourt, envoyé par le gouvernement espagnol, put introduire dans son pays les premiers appareils de ce genre; l'habile ingénieur avait deviné le mécanisme de la machine à double effet à la seule inspection de son jeu extérieur. C'est encore de la même manière que l'aîné des frères Perrier, qui fit, dans cette vue, jusqu'à cinq voyages en Angleterre, put installer à Paris une machine à vapeur qui n'était que la reproduction de la machine de Watt à simple effet. C'est la même machine qui a fonctionné jusqu'à l'année 1854 sur les rives de la Seine pour la distribution des eaux, et qui était connue sous le nom de *pompe à feu de Chaillot*.

Watt continua de résider à Birmingham ou à Soho jusqu'au terme de son association avec Mathieu Boulton; leur Société devait durer jusqu'à l'expiration du premier brevet de Watt. Ce brevet, concédé en 1775, pour un espace de vingt-cinq années, expirait en 1800. A cette époque, James Watt et Mathieu Boulton se séparèrent de la Société; ils y furent remplacés chacun par son fils, et la nouvelle compagnie continue de diriger de nos jours l'admirable établissement dû à la persévérance et au génie de ses fondateurs.

En se retirant des affaires, James Watt vint se fixer dans une terre voisine de Soho, nommée Heathfield, dont il avait fait l'acquisition en 1790. Il passa ses derniers jours dans cette heureuse retraite, pratiquant les maximes de sa douce philosophie, jouissant du repos et de la fortune acquis pendant le cours de sa glorieuse carrière, éprouvant le bonheur ineffable d'être témoin de l'extension prodigieuse que pre-

nait, par suite de ses travaux, la prospérité de sa patrie. Les plaisirs et les relations de la société l'occupèrent exclusivement jusqu'à la fin de sa vie. Pendant qu'il résidait à Birmingham ou à Soho, il avait pris l'habitude de réunir autour de lui un petit cercle d'amis, parmi lesquels se remarquaient l'illustre chimiste Priestley, le poëte Darwin, le botaniste Withering, le chimiste Keir, traducteur de Macquer. M. Edgeworth, père de miss Maria Edgeworth, et quelques artistes ou littérateurs en renom. Cette petite académie portait le nom de *Société lunaire* (*lunar Society*), titre sur lequel il est bon de ne pas prendre le change, et qui signifiait seulement que les académiciens se réunissaient les soirs de pleine lune afin d'y voir clair en rentrant chez eux. Watt rassembla à Heathfield les restes épars de sa petite académie, et c'est dans ce cercle distingué qu'il aimait à s'abandonner à sa verve de causeur et de conteur. Nul ne possédait ces talents à un plus haut degré. Il avait dévoré dans sa jeunesse tous les ouvrages de fiction et de poésie légère, et sa mémoire y retrouvait le texte d'inépuisables emprunts. A leur défaut, son imagination lui suggérait, pendant des soirées entières, toutes sortes de récits de fantaisie que son air de conviction et l'assurance de son débit faisaient accepter comme autant de faits incontestables. Que d'anecdotes racontées dans les *Revues* anglaises et dans les *Magazines*, qui n'étaient que des jeux de l'imagination de Watt bénévolement transmis au public par ses auditeurs mystifiés! Un jour cependant, ayant étourdiment lancé les personnages de son récit dans une situation des plus compliquées, il éprouvait quelque embarras à les tirer de ce dédale. Darwin l'interrompant :

— Est-ce que par hasard, monsieur Watt, vous nous raconteriez une histoire de votre cru?

Watt s'arrêta, et regardant son interlocuteur avec le plus grand sérieux :

— Votre question, M. Darwin, m'étonne au dernier point. Depuis vingt ans que j'ai le plaisir de passer mes soirées avec vous, est-ce que je fais autre chose ? Est-il donc possible qu'on ait voulu faire de moi un émule de Robertson ou de Hume, lorsque toutes mes prétentions se bornaient à marcher sur les traces de la princesse Schéhérazade (1).

Ces heureuses réunions, sur lesquelles l'esprit aimable et les grâces enjouées du vieillard savaient répandre tant de charmes, étaient encore animées par la présence de la femme distinguée à laquelle il avait donné son nom. James Watt s'était décidé, après quelques années de veuvage, à épouser la fille d'un fabricant du comté. Les goûts éclairés, le jugement solide et les connaissances sérieuses de mademoiselle Mac-Gregor, avaient surtout contribué à fixer son choix. Les premières relations s'étaient établies autour d'une table à thé, dans l'une des soirées de Watt. On avait parlé de

(1) Ce talent singulier de conteur d'histoires faites à plaisir s'était manifesté chez James Watt dès les premières années de son enfance. Arago, dans sa *Notice biographique*, en cite une preuve assez piquante : L'esprit anecdotique que notre confrère, dit Arago, répandit avec tant de grâce, pendant plus d'un demi-siècle, parmi tous ceux dont il était entouré, se développa de très-bonne heure. On en trouvera la preuve dans ces quelques lignes que j'extrais, en les traduisant, d'une note inédite rédigée en 1798 par madame Marion Campbell, cousine et compagne d'enfance du célèbre ingénieur :

« Dans un voyage à Glascow, madame Watt confia son jeune fils « James à une de ses amies. Peu de semaines après, elle revint le voir, « mais sans se douter assurément de la singulière réception qui l'attendait. — Madame, lui dit cette amie dès qu'elle l'aperçut, il faut vous « hâter de ramener James à Glascow, je ne puis endurer l'état d'excitation dans lequel il me met ; je suis harassée par le manque de sommeil. Chaque nuit, quand l'heure ordinaire du coucher de ma famille « approche, votre fils parvient adroitement à soulever quelque discussion « dans laquelle il trouve toujours moyen d'introduire un conte qui, au « besoin, en enfante d'autres. Ces contes pathétiques ou burlesques ont « tant de charme, tant d'intérêt, ma famille tout entière les écoute avec « une si grande attention, qu'on entendrait une mouche voler. Les « heures ainsi succèdent aux heures sans que nous nous en apercevions ; « mais le lendemain je tombe de fatigue. Madame, ramenez, ramenez « votre fils chez vous. »

Shakespeare et de Racine, et Watt avait défendu l'auteur de *Macbeth* contre le poëte d'*Athalie* prôné par mademoiselle Mac-Gregor. La discussion amena un échange de lettres, et le mariage s'ensuivit. Les précieuses qualités de madame Watt rendaient sa maison doublement chère à ses amis : nulle part, en effet, la science du bon accueil n'était mieux entendue.

La littérature et les événements du jour n'étaient pas cependant la seule matière des entretiens. Comme on le pense, la science avait son tour, et la chère mécanique n'était pas oubliée. Le génie fertile de Watt y trouvait quelquefois de soudaines occasions de s'exercer avec profit. Un jour Darwin entrant chez lui :

— Je viens d'imaginer, dit-il, certaine plume à deux becs, à l'aide de laquelle on écrira chaque chose deux fois, et qui donnera ainsi d'un seul coup l'original et la copie d'une lettre.

— J'espère trouver une meilleure solution, répliqua James Watt : j'y penserai ce soir, et je vous communiquerai demain le résultat de mes réflexions.

Le lendemain la presse à copier les lettres était inventée.

C'est de cette manière qu'il imagina la curieuse machine qui permet d'obtenir, par des moyens très-simples, la reproduction d'une statue, d'un bas-relief ou d'un buste. Cette invention intéressante fut réalisée dans les dernières années de James Watt. Il en distribuait les produits à ses amis, en les priant d'accepter « cette œuvre d'un jeune « artiste qui ne fait que d'entrer dans sa quatre-vingt-troi- « sième année. »

Ainsi le feu de son heureux génie, qui s'était fait jour dès les premiers instants de sa jeunesse, brillait encore aux derniers temps de sa vie. Il faut connaître, pour ne point s'en étonner, le caractère et les qualités spéciales de l'esprit de James Watt. Le célèbre ingénieur avait reçu en partage le



don rare et précieux de l'imagination. C'est par une vue très-fausse et très-mal justifiée que l'on s'accorde généralement à resserrer le rôle de l'imagination dans le domaine exclusif des lettres et des beaux-arts. Cette heureuse faculté préside plus qu'on ne le pense aux créations scientifiques. Pour se lancer, dans les hautes régions de la science, à la recherche de l'inconnu ; pour marcher, par des sentiers nouveaux, vers ces horizons voilés que l'avenir nous dérobe, il faut souvent suivre des yeux l'étoile inspiratrice qui brille au firmament des poëtes. C'est en s'écartant des règles établies, en s'élançant, par une vue souveraine, hors du cercle étroit des opinions communes, qu'un homme supérieur s'élève aux grandes conceptions qui immortalisent son génie. Watt en fournirait au besoin un éclatant exemple. Il avait reçu de la nature la faculté de l'imagination, et il eut la fortune de préserver ce don brillant du dangereux contact de l'éducation des écoles. Son humble origine, les modestes occupations de sa jeunesse, eurent pour résultat d'éloigner de son esprit les règles absolues et les tranchantes formules de l'enseignement classique. S'il eût pris sa part de l'instruction banale qui se débitait à l'université d'Oxford, il serait devenu sans doute un professeur érudit ; livré à lui-même, il devint le premier mécanicien de son temps. Il est reconnu que Watt n'avait aucune de ces connaissances obligées et communes qui font le savant mathématicien ; on assure qu'il n'avait jamais résolu une équation d'algèbre ; comme Ferguson, il se contentait de l'emploi des procédés géométriques, et c'était même son amusement favori de représenter par des figures de géométrie les tables numériques qu'il avait besoin de consulter pour établir les proportions de ses machines. Les traités de mécanique étaient le seul genre d'ouvrages dont il se refusât la lecture . on aurait dit que son intelligence avait besoin d'être affranchie de tout joug étranger. Il ne communiquait ses idées à personne, et quand il

avait imaginé quelque appareil nouveau, c'est à peine s'il s'occupait d'en surveiller l'exécution ou de prendre des avis, comme s'il avait eu la conviction secrète que son esprit n'avait jamais plus de puissance que quand il était entièrement livré à lui-même. Les idées sortaient de son esprit comme pousse l'herbe des champs sur un terrain vigoureux. On lui demandait un jour si la découverte du parallélogramme articulé lui avait coûté beaucoup de calculs et d'efforts de tête : « Non, répondit-il, et j'ai même été très-surpris « de la perfection de son jeu. En le voyant fonctionner pour « la première fois, j'éprouvais autant de plaisir que si « j'avais examiné l'invention d'une autre personne. » Il a dit de lui-même, en donnant le récit de ses découvertes relatives au perfectionnement de la machine de Newcomen : « L'idée une fois conçue d'opérer la condensation hors du « cylindre, toutes les autres améliorations s'effectuèrent « avec une incroyable rapidité; tellement que, dans l'espace « d'un ou deux jours, mon plan fut parfaitement arrangé « dans ma tête, et que, pour en faire l'essai, je le mis tout « de suite à exécution. » Aussi avait-il l'habitude de considérer toutes ses inventions comme le résultat de pensées tellement simples, qu'elles auraient pu se présenter à tout autre qu'à lui ; il ajoutait qu'il avait été seulement assez heureux pour les soumettre le premier à l'expérience. Et cette déclaration était sincère de tout point.

Grâce à cette organisation intellectuelle, James Watt pouvait s'occuper avec succès d'objets dont il n'avait aucune idée. Pendant qu'il résidait à Glascow, Darwin vint un jour le prier de lui fabriquer un orgue.

— Comment voulez-vous que je vous construise un orgue? répondit Watt. J'ai la musique en horreur, et tous les instruments me sont étrangers. Je ne puis distinguer deux sons : l'une de mes oreilles est en *ut* et l'autre en *fa*.

— Bah ! essayez. Vous pouvez tout ce que vous voulez : vous êtes le dieu de la mécanique.

Watt essaya. Il n'avait à sa disposition que l'ouvrage très-confus du docteur Robert Smith (de Cambridge). Cependant l'orgue fut construit, et ses qualités harmoniques charmaient jusqu'aux musiciens de profession. Il réalisa le tempérament des diverses notes d'après la seule connaissance du phénomène physique des battements qu'il avait ignoré jusque-là, et dont il trouva l'exposition dans le traité obscur de Robert Smith.

Cette organisation extraordinaire de Watt, le développement vraiment prodigieux de ses facultés, pourraient nous sembler aujourd'hui douteux, si quelques-uns de ses contemporains n'avaient pris soin d'en fournir des témoignages irrécusables. Son élève Playfair a dit : « L'esprit de James Watt pouvait être comparé à une encyclopédie qui, dans quelque endroit qu'on l'ouvrît, offrait à votre curiosité ou quelque fait nouveau, ou le développement d'une vérité, ou la découverte de quelque rapport. » Walter Scott, dans sa préface du *Monastère,* s'exprime en ces termes au-sujet du célèbre ingénieur :

« Watt n'était pas seulement le savant le plus profond, celui qui, avec le plus de succès, avait tiré de certaines combinaisons de nombres et de forces des applications nouvelles; il n'occupait pas seulement un des premiers rangs parmi ceux qui se font remarquer par la généralité de leur instruction ; il était encore le meilleur, le plus aimable des hommes. La seule fois que je l'aie rencontré, il était entouré d'une petite réunion de littérateurs du Nord. Là je vis et j'entendis ce que je ne verrai et n'entendrai plus jamais. Dans la quatre-vingt-unième année de son âge, le vieillard, alerte, aimable, bienveillant, prenait un vif intérêt à toutes les questions : sa science était à la disposition de qui la réclamait. Il répandait les trésors de ses talents et de son imagination sur tous les objets. Parmi les *gentlemen* se trouvait un profond philologue ; Watt discuta avec lui sur l'origine de l'alphabet comme s'il avait été le contemporain de Cadmus. Un

célèbre critique s'étant mis de la partie, vous eussiez dit que le vieillard avait consacré sa vie tout entière à l'étude des belles-lettres et de l'économie politique. Il serait superflu de mentionner les sciences : c'était sa *carrière* brillante et spéciale. Cependant, quand il parla avec notre compatriote Jedediah Cleishbotham, vous auriez juré qu'il avait été le contemporain de Claverhouse et de Burley, des persécuteurs et des persécutés; il avait fait, en vérité, le dénombrement exact des coups de fusil que les dragons tirèrent sur les covenantaires fugitifs. Nous découvrîmes enfin qu'aucun roman du plus léger renom ne lui avait échappé, et que la passion de l'illustre savant pour ce genre d'ouvrages était aussi vive que celle qu'ils inspirent aux jeunes modistes de dix-huit ans. »

Enfin, Arago nous fournit ce curieux témoignage sur les facultés intellectuelles de James Watt.

« La santé de Watt s'était fortifiée avec l'âge. Ses facultés intellectuelles conservèrent toute leur puissance jusqu'au dernier moment. Notre confrère crut une fois qu'elles déclinaient, et, fidèle à la pensée qu'exprimait le cachet dont il avait fait choix (un œil entouré du mot *observare*), il se décida à éclaircir ses doutes en s'observant lui-même, et le voilà, plus que septuagénaire, cherchant sur quel genre d'étude il pourrait s'essayer, et se désolant de ne trouver aucun sujet sur lequel son esprit ne se fût déjà exercé. Il se rappelle enfin qu'il existe une langue anglo-saxonne, que cette langue est difficile; et l'anglo-saxon devient le moyen expérimental désiré, et la facilité qu'il trouve à s'en rendre maître lui montre le peu de fondement de ses appréhensions (1). »

C'est ainsi que l'illustre mécanicien, conservant jusqu'à ses derniers jours l'entier usage de ses facultés, vieillissait entouré des affections de sa famille, jouissant d'un repos noblement acquis pendant le cours de sa vie laborieuse, recevant avec un orgueil légitime les hommages que ses concitoyens rendaient à ses vertus et à son génie. Dans l'été de l'année 1819, quelques symptômes alarmants annoncèrent sa fin prochaine. Il ne se méprit pas à la nature de son mal,

(1) *Notice biographique sur James Watt.*

et dès ce moment il ne fut occupé que du soin de consoler ses amis. Il remerciait la Providence de tous les bienfaits versés sur ses longs jours; il exprimait sa gratitude profonde pour les services qu'il lui avait été donné de rendre à sa patrie, pour la sérénité et le calme qui avaient embelli le doux soir de sa vie. Le noble vieillard s'éteignit le 25 août 1819.

Watt fut enterré dans l'église paroissiale de Heathfield. Son fils, M. James Watt, fit ériger sur sa tombe un monument gothique au centre duquel s'élève une statue de marbre due au ciseau de Chantrey. Une seconde statue du même artiste a été placée par M. Watt fils, dans l'une des salles de l'université célèbre qui protégea l'illustre mécanicien aux jours difficiles de sa jeunesse. Mais le peuple anglais sait trop dignement glorifier ses morts illustres pour avoir laissé à la piété filiale le soin d'honorer seule la mémoire de ce grand citoyen. Une statue colossale de bronze, dressée sur un piédestal de granit, a été élevée à Watt sur l'une des places de Glascow. En outre, les habitants de Greenock, sa ville natale, ont placé, à leurs frais, une belle statue de marbre dans la bibliothèque de la ville.

La haute reconnaissance de la nation ne devait pas s'en tenir au tribut isolé des compatriotes de Watt. L'abbaye de Westminster possède aujourd'hui un monument digne de son génie. Le projet en fut arrêté dans une réunion de souscripteurs composée de tout ce que le commerce, la science et l'industrie de Londres comptaient de plus distingué. Le roi figurait le premier sur la liste des souscripteurs. L'inauguration du monument de Westminster eut lieu dans une séance solennelle, au milieu d'une réunion des plus imposantes, où se trouvaient un grand nombre de pairs d'Angleterre et les membres les plus éminents de la chambre des communes sous la présidence du premier ministre, lord Liverpool. Ce monument consiste en une admirable statue

de marbre, l'un des plus beaux ouvrages de Chantrey, qui reproduit avec une fidélité remarquable la physionomie calme et méditative du grand inventeur ; les ornements et les emblèmes qui le décorent sont du plus majestueux effet. L'Angleterre a voulu, par ce magnifique hommage, consacrer dignement la gloire de l'un dés plus grands hommes qu'elle ait produits.

Mais que peuvent pour de tels génies ces somptueux témoignages de l'admiration du monde ? Ni l'airain ni le marbre ne sont nécessaires pour consacrer leur mémoire. Les services que Watt a rendus à sa patrie, à l'Europe, à l'humanité tout entière, suffisent pour perpétuer son nom. La machine qu'il a créée a été l'origine du bien-être général dont jouit la société moderne. Multipliant dans une proportion extraordinaire la somme du travail public, elle a couvert le sol des nations libérales de ces milliers de travailleurs, dociles autant qu'infatigables, qui dorment à nos pieds sous la forme d'un bloc de charbon, et qui, sur un geste, sur un signe de nous, s'éveillent pour nous offrir leurs bras de fer et leurs muscles d'acier. C'est par le secours de ces légions paisibles que des améliorations incalculables ont été introduites en quelques années dans le sort et les conditions d'existence des classes pauvres. Les produits du luxe utile mis à la disposition de tous, l'existence rendue plus douce et plus facile, la vie intellectuelle agrandie dans tous les esprits, tels sont les immortels résultats des travaux de James Watt. Les bienfaits que son génie a versés sur le monde, voilà la véritable, voilà l'impérissable statue qui perpétuera sa mémoire, et qui fera vivre à jamais son nom dans le cœur des générations présentes et de la postérité.

CHAPITRE X

Perfectionnement et progrès de la machine à vapeur depuis Watt jusqu'à nos jours. — Machine de Wolf. — Machine à haute pression. — Historique de la découverte des machines à haute pression. — Leupold. — Olivier Evans. — Machine du Cornouailles, ou perfectionnement de la machine à simple effet. — Vulgarisation de la machine à vapeur. — Ses progrès en France. — Derniers perfectionnements. — Machines à vapeurs combinées. — Machines à vapeur régénérée. — Machines Éricsson.

Pendant une longue suite d'années on n'a fait usage que de la machine de Watt, ou *machine à basse pression et à condenseur* dont l'histoire descriptive vient de nous occuper. En Angleterre et dans les autres pays, elle fut longtemps conservée sans aucune modification, même dans le cas où elle perd une grande partie de ses avantages, c'est-à-dire pour la production de petites forces. Cependant la nécessité d'approprier l'action de la vapeur à différentes natures de travaux, et le désir de réduire la dépense assez considérable de combustible qu'elle entraîne, ont obligé, de nos jours, à modifier, dans presque toutes ses parties, la machine de Watt: c'est l'examen de ces dispositions nouvelles qui doit maintenant nous occuper pour terminer l'histoire des machines à vapeur fixes.

En 1804, les brevets de Watt étant expirés, une modification de la plus haute importance fut apportée à la machine à vapeur par la construction des *machines à double cylindre* ou *machines de Wolf.* Le constructeur Hornblower avait le premier conçu, en 1798, l'idée de ce système, qui fut perfectionné et exécuté par Arthur Wolf, constructeur anglais,

dont le nom est demeuré, à juste titre, attaché à ce nouveau type de machines.

L'objet de la *machine de Wolf* c'est d'obtenir le plus grand avantage possible de la détente de la vapeur. Nous avons vu que Watt n'avait retiré que peu de profit de l'expansion de la vapeur dans le vide; il avait consigné ce fait dans ses brevets plutôt comme une vue théorique, que pour en faire l'objet d'une application sérieuse; son but était surtout, en détendant la vapeur, d'éviter les chocs du piston contre le fond du cylindre.

Dans les machines de Watt, la détente s'opérait au moyen d'une valve, ou soupape, qui fermait l'orifice d'entrée de la vapeur dans le cylindre avant que le piston fût parvenu au tiers ou à la moitié de sa course. Pour obtenir une détente plus complète et plus commode de la vapeur, Homblower et Wolf adjoignirent au cylindre de la machine un autre cylindre trois ou quatre fois plus grand. C'est dans cette dernière capacité que s'opère la détente de la vapeur sortant du premier cylindre. Un piston parcourt ce second cylindre, et ce piston, muni d'une tige verticale, vient agir sur un autre point du balancier; ces deux actions s'ajoutent, et le balancier s'élève en raison des impulsions réunies de deux pistons. Ce n'est qu'en sortant du grand cylindre où elle s'est détendue, que la vapeur passe dans le condenseur pour s'y liquéfier.

La figure 15 fait comprendre la marche de la vapeur dans les deux cylindres de la machine de Wolf. Les robinets qui s'y trouvent indiqués n'ont pour but que de faciliter l'explication; en réalité ce sont des *tiroirs* ou soupapes qui remplissent le même objet dans la pratique.

C, D représentent les deux cylindres accouplés; c'est dans le plus grand que s'effectue la détente de la vapeur, qui vient d'agir à pleine pression dans le petit cylindre. Une communication est établie entre ces deux capacités, au moyen de deux tuyaux qui s'entre-croisent: la partie inférieure du petit

cylindre communique ainsi avec la partie supérieure du grand, et réciproquement.

La vapeur arrivant de la chaudière par le tube F dans le petit cylindre agit à pleine pression et soulève le piston A

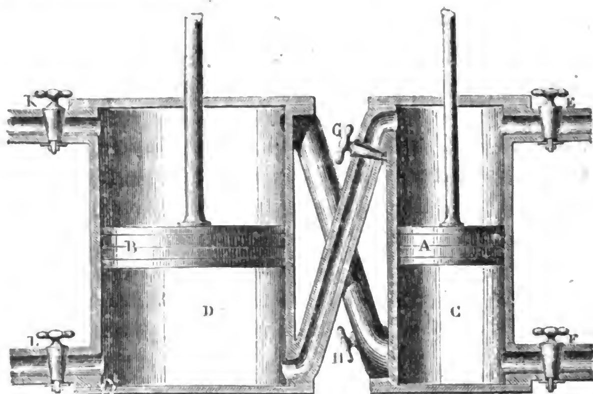


Fig. 14.

jusqu'au haut du cylindre; le robinet ou tiroir G s'ouvrant alors, fait passer la vapeur dans la partie inférieure du grand cylindre D où elle se détend, et par son expansion dans le vide, soulève le piston B jusqu'au haut de sa course; alors le robinet ou tiroir K s'ouvre, et la vapeur s'écoule dans le condenseur pour s'y liquéfier. Mais de nouvelle vapeur arrivant de la chaudière par le tube E dans le petit cylindre, vient presser la face supérieure du piston A et l'oblige à descendre au bas du cylindre; le robinet H s'ouvrant alors fait passer la vapeur dans la partie supérieure du grand cylindre D; le piston D s'abaisse sous cette pression; dès que le piston est arrivé au bas de sa course, le robinet L s'ouvre et dirige la vapeur dans le condenseur où elle va se liquéfier. Ces mouvements répétés continuant par le jeu des mêmes moyens, les effets des deux pistons agissent sur le balancier

en ajoutant leur action, et entretiennent ainsi son oscillation continuelle.

La machine de Wolf où l'on fait usage de la détente de la vapeur dans les conditions les plus étendues, a eu pour résultat de diminuer, dans une forte proportion, la quantité de combustible consommée par la machine, tout en ajoutant à la régularité de ses effets. Elle présente sur la machine de Watt une économie considérable. Selon MM. Grouvelle et Jaunez, elle consomme seulement 3 kilogrammes de bonne houille par force de cheval et par heure de travail dans les machines de la force de 8 à 12 ou 15 chevaux (1). On sait, d'après les résultats obtenus, tant en Angleterre qu'en Belgique et en France, que la machine à basse pression de Watt brûle ordinairement 6 à 7 kilogrammes par force de cheval produite et par heure de travail.

La machine de Wolf n'a reçu depuis sa création que des modifications de très-peu d'importance.

L'économie qui résulte de l'emploi de la machine de Wolf, la fit accepter assez généralement en Angleterre, malgré la faveur dont jouissait dans ce pays la machine primitive de Watt. Son succès fut plus complet et plus rapide en France, où le mécanicien Edwards qui l'avait perfectionnée dans quelques détails de son mécanisme, en fit adopter l'usage. Aujourd'hui la machine de Wolf est extrêmement répandue dans le nord de la France ; les filatures l'emploient presque exclusivement en raison de la régularité extrême et de la douceur de son mouvement.

C'est vers l'année 1815 que les *machines à haute pression*, ou mieux les *machines sans condenseur*, commencèrent à s'introduire sérieusement dans l'industrie européenne. Nous n'avons pu parler jusqu'ici que d'une manière incomplète de

(1) *Guide du chauffeur.*

ce genre de machines, dont les applications sont toutes modernes. C'est ici le lieu de les examiner avec plus de détails.

Avant de présenter l'historique de la découverte et des progrès de la machine à haute pression, nous commencerons par donner l'exposé des principes sur lesquels repose son mécanisme.

Dans la machine de Watt, ou *machine à condenseur*, on emploie de la vapeur chauffée seulement à la température de l'ébullition de l'eau, sous une pression qui ne dépasse pas de beaucoup celle de l'atmosphère. La condensation alternative de cette vapeur, sous les deux faces du piston, détermine un vide, qui permet à la vapeur de produire toute son action mécanique. Mais on peut aussi construire des machines réalisant de très-puissants effets, sans qu'il soit nécessaire d'y condenser la vapeur. Il suffit, pour obtenir ce résultat, de communiquer à la vapeur une tension supérieure à celle de l'atmosphère (1). En effet, si le piston est pressé sur ses deux faces par de la vapeur dont la force élastique dépasse de beaucoup la pression de l'atmosphère, il suffira de chasser dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, pour que celui-ci s'abaisse aussitôt dans le cylindre. Quand le cylindre est rempli de vapeur d'eau présentant une force élastique supérieure à celle de l'atmosphère, et que ses deux capacités, supérieure et inférieure, communiquent entre elles, le piston est soumis sur ses deux faces à la même pression ; il reste donc immobile. Mais si tout d'un coup on vient

(1) Pour obtenir de la vapeur à haute pression, on chauffe très-fortement l'eau de la chaudière en retenant la vapeur dans la chaudière sans lui donner issue dans le cylindre. Le chauffeur reconnaît, en examinant le manomètre, le moment où la vapeur a atteint le degré de pression qu'il désire communiquer à la vapeur, et ce terme une fois atteint, il ouvre le robinet qui lui donne accès dans le cylindre; la machine commence alors à fonctionner. Pendant la marche de la machine, le chauffeur observe toujours la hauteur du manomètre, et il règle la chaleur du foyer de manière à entretenir la vapeur au même degré de tension.

à donner issue à la vapeur qui remplissait, par exemple, la capacité inférieure du cylindre, en ouvrant un robinet qui la fasse écouler dans l'air, la pression qui s'exerce sur la tête du piston n'étant plus exactement contre-balancée au-dessous, précipite nécessairement le piston jusqu'au bas de sa course. Admettons, par exemple, que le cylindre soit rempli de vapeur à la tension de trois atmosphères, si l'on chasse dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, la capacité inférieure du cylindre, communiquant dès lors librement avec l'air extérieur, n'opposera plus à la vapeur une résistance capable de le maintenir en équilibre, et le piston sera poussé au bas de sa course en raison de la différence des pressions qu'il supporte sur ses deux faces. Le poids que supporte la tête du piston est représenté par trois atmosphères, la pression qui le sollicite au-dessous est seulement d'une atmosphère, attendu que ce n'est pas autre chose que la pression même de l'air ; par conséquent le piston doit s'abaisser dans le cylindre en vertu de la différence desd eux pressions, c'est-à-dire par une pression de deux atmosphères. Si maintenant on fait écouler dans l'air la vapeur à haute pression qui remplit la partie supérieure du cylindre, et qu'en même temps on dirige au-dessous du piston de nouvelle vapeur à trois atmosphères envoyée par la chaudière, le piston sera soulevé, puisque la vapeur qui se trouve contenue dans la partie supérieure du cylindre est en communication avec l'air extérieur. Ainsi, en dirigeant alternativement de la vapeur à haute pression au-dessus et au-dessous du piston, et mettant chaque fois l'une des extrémités du cylindre en communication avec l'air, on obtiendra un mouvement continu du piston et l'on pourra se passer de condenser la vapeur. Tel est le principe des machines à haute pression.

La première idée des machines à haute pression a été

émise par Leupold, vers 1725. Dans son célèbre recueil (1), le physicien allemand donne la description de deux machines à feu propres à l'élévation des eaux, qui ne sont autre chose que des machines à haute pression. La première, qu'il annonce sous ce titre : *Double machine à feu pour élever l'eau par expansion, d'après le procédé de Papin,* ressemble beaucoup à la seconde machine à vapeur du physicien de Blois. A l'exemple de Savery et de Papin, Leupold se sert de la pression de la vapeur pour élever de l'eau dans un réservoir, et la faire retomber de là sur les augets d'une roue hydraulique; seulement, après que la vapeur a exercé sa pression, il la rejette dans l'air. Sa seconde machine n'est plus consacrée à comprimer une colonne d'eau, mais, comme celle de Newcomen, à faire mouvoir directement la tige d'une pompe qui élève des eaux.

La figure 16, qui s'éloigne peu de celle que Leupold donne dans son ouvrage, représente les éléments de cette dernière machine.

A est la chaudière, R, S, deux cylindres avec lesquels elle communique alternativement par le robinet B qui est pourvu de quatre ouvertures, de manière à donner successivement accès à la vapeur dans l'un des deux cylindres ou dans l'atmosphère. Dans la situation indiquée par la figure, le cylindre R est rempli de vapeur qui soulève le piston C; le cylindre S est vide de vapeur, celle qui le remplissait s'étant échappée dans l'air par le tuyau M et grâce à l'ouverture, pratiquée à un point convenable, du robinet B. Les pistons C et D de ces deux cylindres agissent chacun sur un balancier particulier H, G, et ces balanciers font mouvoir les tiges K,L de deux pompes foulantes O, P, qui puisent l'eau dans un réservoir N et élèvent cette eau, par un tuyau Q, dans un réservoir supérieur T. La machine décrite par

(1) *Theatri machinarum hydraulicarum t. II, oder Gehauplatz der Wasser-Künste*, cap. IX, p. 92.

Leupold était proposée en effet pour servir à l'élévation des eaux. Elle réalise complétement, comme on le voit, le principe de la machine à haute pression.

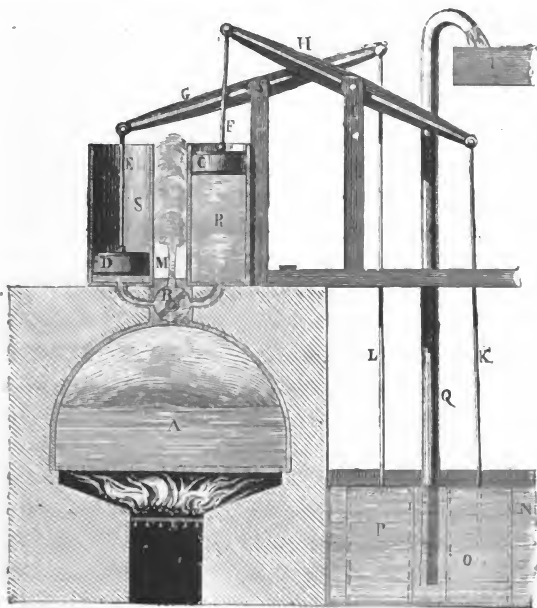


Fig. 15.

C'est donc à Leupold qu'il faut rapporter l'honneur de la découverte du principe théorique de la machine à haute pression. Contemporain de Papin, de Savery et de Newcomen, il avait eu l'occasion d'étudier leurs appareils, et il eut le mérite d'indiquer, dès l'apparition des premières machines de ce genre, un nouveau mode d'emploi de la vapeur qui devait plus tard jouer un si grand rôle dans l'industrie (1).

(1) Leupold parait avoir compris l'importance que devait acquérir plus tard la machine dont il propose l'usage. Après avoir décrit son ser-

Cependant le principe découvert par Leupold passa sans exciter l'attention ; perdus dans son volumineux recueil, ses projets de machines restèrent inaperçus. Ajoutons d'ailleurs qu'il eût été bien difficile à cette époque de mettre en pratique les idées du physicien allemand, en raison de la nature du métal dont on faisait usage pour la construction des chaudières. La voûte des chaudières employées par Newcomen était ordinairement de plomb, et les parties inférieures de cuivre ; la présence d'un métal aussi fusible et aussi peu résistant que le plomb, n'aurait pas permis de communiquer sans danger à la vapeur des tensions considérables.

Dans la série de ses recherches, James Watt ne manqua pas de reconnaître l'importance que pourraient jouer, dans l'emploi mécanique de la vapeur, les moyens proposés par Leupold. Le célèbre constructeur parle, dans le brevet que nous rapportons dans les notes de ce volume, de son projet de construire des machines dans lesquelles la vapeur serait chassée au dehors après avoir produit son effet ; cependant il n'exécuta jamais aucune machine fondée sur ce principe.

L'honneur d'avoir construit et répandu dans l'industrie les premières machines à haute pression revient à l'Américain Oliver Evans, homme doué d'un remarquable génie méca-

cond appareil, il ajoute : « Cette machine peut être employée dans le « même cas que la précédente.. Tout peut être disposé de telle sorte « que les robinets s'ouvrent et se ferment d'eux-mêmes, ce que j'omets « entièrement à dessein, comme aussi la manière de remplacer l'eau « dans la chaudière, parce qu'il ne s'agit ici que d'une esquisse, et qu'il « faudrait une étude plus approfondie et des expériences. Je me suis « proposé de faire un jour une expérience en grand et un essai, savoir : « si l'on pourrait établir avantageusement, de cette manière, une « scierie dans une forêt où il y aurait assez de bois et d'eau. Mais comme « le temps et l'occasion me manquent pour exécuter tout de suite cette « machine, ainsi que d'autres expériences ou recherches coûteuses, j'ai « l'espoir qu'il y aura peut-être des amateurs qui saisiront l'occasion que « je leur offre pour faire quelques expériences à ce sujet. » (*Von Feuer-Maschinen*, cap. IX, § 201, p. 94.)

nique, et que ses compatriotes eurent le tort de longtemps méconnaître.

L'attention d'Oliver Evans fut dirigée pour la première fois sur les effets de la vapeur par une sorte de jeu familier aux habitants de son pays. En Amérique, les enfants s'amusent, dit-on, à boucher avec une forte cheville la lumière d'un canon de fusil ; ils versent ensuite un peu d'eau dans le canon, et placent par-dessus une bourre fortement pressée. La culasse du canon étant exposée à l'action d'un feu de forge, la cheville finit par être chassée avec une violente détonation. On donne à ce jeu, qui n'est, comme on le voit, que la prétendue expérience du marquis de Worcester, le nom de *pétards de Noël*. Le 2 décembre 1773, Oliver Evans, alors âgé de dix-huit ans et simple ouvrier charron à Philadelphie, apprit de l'un de ses frères, qui revenait d'une veillée de village, les effets des pétards de Noël. Son esprit en fut vivement frappé, et comme il avait longtemps réfléchi aux moyens de découvrir quelque force motrice autre que celle du vent, des ressorts ou des chevaux, sa jeune imagination s'enflamma à l'idée de créer un nouveau moteur avec la vapeur d'eau, dont l'action lui était jusque-là inconnue. Cependant il ne tarda pas à apprendre que les mécaniciens avaient déjà tiré parti de cette force motrice. La description d'une vieille machine atmosphérique qui lui tomba sous la main, et la lecture de quelques ouvrages abrégés sur les machines à condenseur, le mirent au courant de l'état de la science sur cette question. Il s'étonna à bon droit que l'on n'eût encore employé que pour faire le vide un agent dont la puissance lui semblait sans limites, et, sur cette donnée, il s'appliqua à combiner des machines nouvelles dans lesquelles la vapeur agissait par sa seule élasticité, et se perdait dans l'air après avoir exercé sa pression. Il construisit divers modèles de ce nouveau genre de machines, dans lesquels la vapeur agissait jusqu'à la tension de dix atmosphères.

C'est en appliquant ses idées sur la haute pression, qu'Oliver Evans imagina, en 1782, ces admirables moulins à farine mus par la vapeur, dont les États-Unis ont retiré et retirent encore de si grands services. Il essaya bientôt après de construire, suivant les mêmes principes, une voiture marchant par l'effet de la vapeur.

Malgré des efforts laborieusement continués pendant plus de vingt ans, Evans ne put réussir à faire adopter ses idées. Il revint donc aux travaux ordinaires de sa profession de constructeur de machines à vapeur, et se consacra d'une manière spéciale à fabriquer des machines à haute pression. Il fonda à Philadelphie de grands ateliers pour leur confection; son fils dirigeait à Pittsburg un établissement analogue. Les nombreux appareils qu'il répandit dans les États-Unis finirent par démontrer avec évidence la vérité, trop longtemps contestée, de ses assertions, et bien que cet enthousiaste inventeur s'exagérât beaucoup la puissance des effets dynamiques de la vapeur à haute pression, on peut dire que c'est à lui seul qu'il faut rapporter l'honneur des innombrables services que ce genre de machines rend de nos jours à l'industrie.

Cependant Oliver Evans ne devait pas être témoin de l'extension prodigieuse que ses idées ont reçue. Le 11 mars 1819, un incendie considérable réduisit en cendres son établissement de Pittsburg, et anéantit pour plus de 100,000 francs de machines. Ce désastre fut pour lui le coup de la mort; il expira quatre jours après.

Les machines à haute pression ont eu beaucoup de peine à s'introduire en Europe, et la lutte a duré longtemps entre la machine à condenseur, sortie des ateliers anglais, et la machine à haute pression d'origine américaine. La machine de Watt, création éminemment nationale, s'était pour ainsi dire identifiée avec l'industrie de la Grande-Bretagne, qui avait engagé dans son exploitation des capitaux immenses.

Elle était dès lors un obstacle naturel à l'adoption des machines américaines. Cependant il était difficile de méconnaître les avantages de ces appareils, qui ne demandent qu'un emplacement exigu, suppriment l'encombrement excessif qu'entraîne le condenseur, et, avec un mécanisme des plus simples, développent une puissance extraordinaire.

Les mécaniciens Trevithick et Vivian ont les premiers introduit en Angleterre l'usage des machines à haute pression. Ils commencèrent dès l'année 1801 à en construire quelques-unes; mais ce n'est que vers l'année 1825 à 1830 que ce genre d'appareil se répandit sérieusement en Angleterre. Le constructeur Maudslay leur ayant donné une forme élégante par l'adjonction d'une bielle articulée, qui remplaçait avantageusement l'énorme balancier de Watt, cette circonstance donna beaucoup de faveur aux machines à haute pression. Dans les *machines de Maudslay*, que l'on désigne aussi sous le nom de *machines à bielle articulée*, la tige du piston est maintenue en ligne droite par une traverse à articulation mobile roulant entre deux coulisses. Elles sont encore très-répandues aujourd'hui en Angleterre et en France, en raison de leur disposition aussi élégante que commode, par la faculté qu'elles donnent de marcher avec ou sans condenseur, et de graduer à volonté la détente. C'est sur ce modèle que sont construites un grand nombre de machines à haute pression fonctionnant aujourd'hui dans nos usines.

Après l'emploi général des machines à haute pression, le fait le plus important à signaler dans cet historique, c'est l'ensemble de perfectionnements vraiment extraordinaires qui fut apporté en 1830 aux pompes à feu du Cornouailles. Pendant que Wolf et ses successeurs modifiaient profondément la machine à balancier, en y introduisant la haute pression et la détente dans une large mesure, et pendant

que les machines à haute pression commençaient à se répandre en Angleterre et sur le continent, les constructeurs du Cornouailles, et principalement Trevithick, s'occupaient à perfectionner la machine à simple effet de Watt, qui servait et qui sert encore, dans les mines du Cornouailles, à l'épuisement des eaux, et ils parvenaient, par une série d'inventions remarquables, et surtout grâce à l'emploi admirablement entendu de la détente, à la porter à un degré étonnant de perfection.

Les machines du Cornouailles sont à simple effet et à moyenne pression, c'est-à-dire à la pression de trois ou quatre atmosphères. Leurs dimensions sont colossales; les cylindres ont de 2 à 3 mètres de diamètre, le piston une course de 3 à 4 mètres; la détente s'y effectue sans l'emploi d'aucun cylindre additionnel, et elle s'y trouve portée néanmoins jusqu'à dix fois le volume de vapeur introduite à chaque oscillation. La soupape à double recouvrement, imaginée par les constructeurs du Cornouailles, permet d'ouvrir à la vapeur de larges orifices, et n'exige, pour être manœuvrée, qu'un très-faible effort. C'est par la réunion de ces divers perfectionnements que l'on est parvenu, dans les machines du Cornouailles, à faire descendre la consommation du charbon à 1 kilogramme par heure et par force de cheval. Ce résultat extraordinaire, des rapports fréquemment publiés sur le produit de ces machines, des expériences faites à ce sujet sur une échelle considérable, ont donné aux machines du Cornouailles une réputation immense et d'ailleurs méritée.

La figure 16 représente l'ensemble de l'une des machines du Cornouailles. A est le cylindre où la vapeur, agissant à simple effet, met en action le piston. Le tuyau H sert à mettre alternativement en communication la partie supérieure et l'inférieure du corps de pompe, pour donner accès à la vapeur, tantôt au-dessous, tantôt au-dessus du piston,

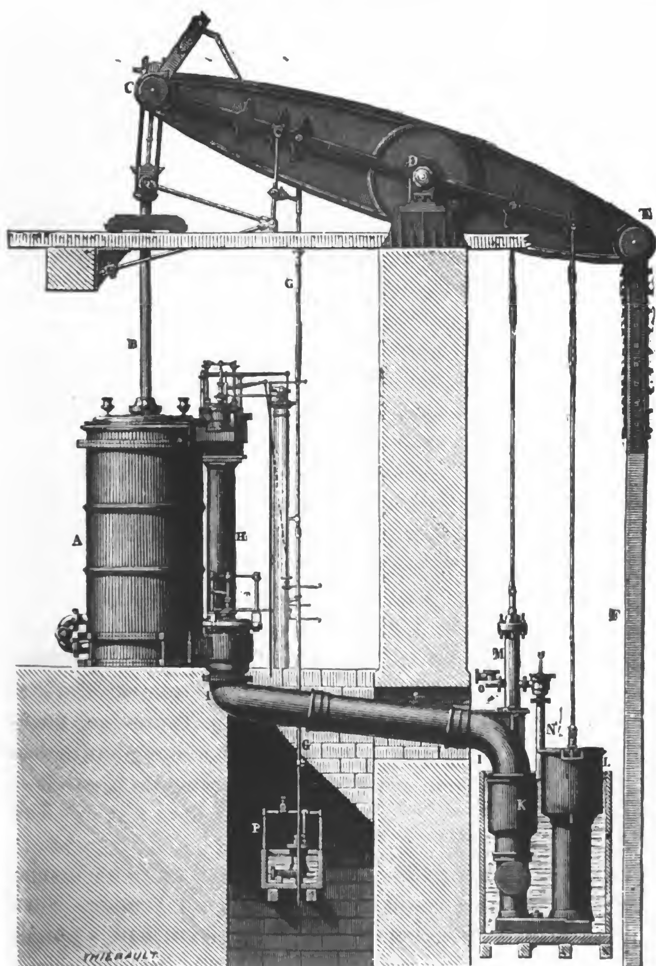


Fig. 16.

tantôt enfin avec le condenseur, ainsi que nous l'avons

expliqué en donnant la théorie de la machine à simple effet de Watt (voy. page 140). Une longue tige GG, liée au balancier, et que l'on nomme la *poutrelle*, sert à manœuvrer les soupapes d'admission de la vapeur dans l'intérieur du cylindre. K est le condenseur ; il consiste en une capacité fermée, placée au milieu d'une bâche contenant de l'eau froide, qui pénètre continuellement dans le condenseur par un jet. L est la *pompe à air* qui sert à retirer constamment l'eau qui s'accumule dans le condenseur. M est la pompe destinée à l'alimentation de la chaudière, c'est-à-dire au remplacement continuel de l'eau qui s'évapore dans le générateur.

Les machines du Cornouailles présentent dans leur mécanisme plusieurs particularités secondaires d'un grand intérêt, mais que nous passons ici sous silence, nous bornant à donner une vue d'ensemble de ce puissant appareil.

L'annonce des résultats économiques produits par les machines du Cornouailles, dans lesquelles on ne brûlait qu'un kilogramme de houille par force de cheval et par heure de travail, produisit en France une grande sensation. Ces résultats étaient dus : 1° à la manière de conduire le feu ; 2° à l'augmentation considérable des surfaces de la chaudière exposées à l'action de la chaleur ; 3° à l'emploi de la détente de la vapeur dans des limites jusque-là inconnues ; 4° à l'ingénieuse et utile disposition des soupapes. Toutes ces dispositions furent le point de départ de recherches nombreuses sur les perfectionnements des divers organes de la machine à vapeur.

C'est vers l'année 1832 que l'art de construire les machines à vapeur se répandit et se multiplia en France. Notre pays avait jusqu'alors emprunté à l'Angleterre la plus grande partie de ces appareils moteurs. En 1789, par exemple, il n'existait encore en France qu'une seule machine à vapeur, c'était la pompe à feu de Chaillot, destinée à la distribution

de l'eau dans Paris, et que les frères Perrier avaient fait construire à Birmingham, en 1773, dans l'usine de Boulton et Watt. Elle demeura la seule en France longtemps encore après cette époque. Sous le premier empire seulement, on commença à construire chez nous quelques machines à vapeur ; mais ce ne fut qu'à la restauration, à l'époque du rétablissement de la paix, que l'on s'occupa de créer des usines pour la construction de ces machines. En 1824, trois grands ateliers s'élevèrent pour la construction des machines à vapeur : c'étaient les établissements de Cavé et Pihet, à Paris, et de Halette, à Arras; enfin, la Société Mamby et Wilson, qui eut ses ateliers d'abord au Creusot, ensuite à Charenton, près de Paris. En 1826, l'établissement du Creusot créa la pompe à feu de Marly, qui fut un tour de force pour cette époque. Dans la dernière période de la restauration, on construisait déjà en France une cinquantaine de machines à vapeur par an.

Vers 1832, l'art du fondeur devenait une industrie courante, et la machine à vapeur commençait à se vulgariser. Un grand nombre d'ateliers furent créés à Paris et dans les villes manufacturières du nord de la France, entre autres à Lille et à Rouen, pour la construction des machines à vapeur: dès lors, cette machine se modifia très-rapidement et avec beaucoup d'avantages dans ses divers organes. La disposition des cylindres fut changée de plusieurs manières; les bielles, le bâti, le volant et le balancier reçurent des dispositions qui permirent d'appliquer l'action de la vapeur à tous les usages exigés par l'industrie. Par suite de l'émulation qui s'établit à ce sujet entre nos constructeurs, chacun voulut avoir ses formes et ses dispositions particulières, et l'on vit apparaître une série nombreuse de machines plus ou moins bien conçues, en partie originales, en partie empruntées aux constructeurs anglais.

C'est dans la période de vingt années, qui s'étend de 1832

à 1852, que furent créés et répandus dans les usines les principaux types nouveaux de machines que nous possédons aujourd'hui, et qui sont : 1° les *machines à cylindre fixe horizontal ;* 2° les *machines à cylindre oscillant ;* 3° les *machines rotatives*. Dans le chapitre suivant nous donnerons la description de ces trois systèmes de machines.

En 1852, on a construit en France plus de trois cents machines à vapeur, et il résulte de la statistique officielle qu'à cette époque nous possédions 6,080 machines d'une force totale de 75,518 chevaux-vapeur. Si l'on admet qu'un cheval-vapeur, dont la force est de 75 kilogrammes élevés à 1 mètre par seconde, équivaut à trois chevaux de trait; si l'on admet, d'un autre côté, que la force d'un cheval de trait équivaut à celle de sept hommes de peine, on en conclura que les machines à vapeur existant chez nous, en 1852, représentaient 226,555 chevaux de trait ou 1,585,888 hommes de peine. Ajoutons que la presque totalité de ces machines avaient été construites en France. En 1848, les machines ayant été relevées et classées avec distinction d'origine, il fut constaté que, sur les 5,212 qui existaient alors, il n'y en avait que 240, c'est-à-dire moins du vingtième, qui fussent d'origine étrangère.

Pour terminer cet exposé historique, nous devons signaler des travaux tout à fait contemporains qui tendent à opérer une véritable révolution dans le système général des machines à vapeur. L'Exposition universelle de 1855 a fait connaître les résultats de cette tendance de la science actuelle à produire des systèmes de machines fondés sur des principes tout nouveaux, et qui, dans un intervalle plus ou moins éloigné, amèneront un changement radical dans le mode d'emploi de la vapeur. Nous ne signalerons qu'en peu de mots ces dispositions nouvelles, qui sont aujourd'hui plutôt à l'état d'étude qu'à celui d'exécution.

Il est manifeste qu'une quantité énorme de calorique se perd dans les machines actuelles. Dans les machines à haute pression, la vapeur qui est rejetée dans l'air après avoir produit son effort mécanique, emporte une grande quantité de chaleur qui n'est point utilisée. La même perte existe dans les machines à condenseur par la vapeur qui se liquéfie dans l'eau du condenseur, et cède à cette eau son calorique qui n'est point utilisé. C'est pour remédier à ces pertes considérables de chaleur, et, par conséquent, de combustible, que les physiciens et les constructeurs de nos jours ont imaginé différents systèmes que l'on peut classer comme il suit :

1° Les *machines à vapeurs combinées*, c'est-à-dire celles dans lesquelles le calorique de la vapeur qui est perdue dans les machines actuelles est employé à volatiliser un liquide, tel que l'éther sulfurique ou le chloroforme, dont la vapeur, dirigée sous le piston d'un second cylindre accolé au cylindre principal, vient exercer un effort mécanique, et ajouter ainsi son action à celle de la vapeur d'eau. La *machine à vapeur d'éther*, imaginée par le capitaine de marine du Tremblay, est consacrée aujourd'hui à un service régulier sur des paquebots de fleuve et de mer. La *machine à vapeur de chloroforme*, due à M. Lafont, capitaine de marine, est d'un usage moins dangereux, parce qu'on n'a pas à redouter l'inflammation des vapeurs, ainsi que cela est déjà arrivé plus d'une fois avec les machines à éther. L'économie réalisée par l'emploi de ce nouveau système est considérable, puisqu'il a permis de constater, dit-on, une réduction de 50 pour 100 de combustible.

2° Les *machines à air chaud*. C'est à cette catégorie qu'appartient la *machine-calorique Éricsson,* dont il a été si souvent question depuis l'année 1852. Dans cet appareil, on ne fait point usage de la vapeur d'eau, mais bien d'une masse d'air alternativement échauffée et refroidie. Mais les difficultés considérables qui naissent dans la pratique, toutes les

fois que l'on veut exposer des surfaces métalliques à nu à l'action d'un foyer, ont empêché jusqu'ici le succès de cette tentative remarquable. La *machine Éricsson* n'a point apparu à l'Exposition universelle de 1855. En revanche, on y remarquait le modèle en petit d'une autre machine à air chaud, conçue sur le même principe, et due à M. Franchot, l'inventeur de la lampe à modérateur.

3° Les *machines à vapeur régénérée*. Au lieu de laisser perdre dans l'air ou dans le condenseur la vapeur qui sort du cylindre après avoir exercé son effort mécanique, on peut la réchauffer en lui faisant traverser un espace porté à une haute température ; après lui avoir rendu ainsi sa tension primitive, on la renvoie dans le même cylindre d'où elle sort. La *machine de M. Siemens*, la *machine à vapeur pulmonaire* de M. Seguin aîné, la *machine à vapeur surchauffée* de MM. Wathereed, constructeurs américains, et divers essais du même genre dus à MM. Testud de Beauregard, Galy-Cazalat et Isoard, ont figuré à l'Exposition universelle de 1855, et permis de constater la tendance générale qui porte maintenant nos constructeurs à changer les bases mêmes du système aujourd'hui adopté pour tirer parti de la puissance mécanique de la vapeur. Ces diverses tentatives sont trop récentes pour devenir dans cet ouvrage l'objet d'un examen particulier. On en trouvera la description dans le volume que nous avons publié : *Les applications nouvelles de la science à l'industrie et aux arts en* 1855 (1).

(1) *Les applications nouvelles de la science à l'industrie et aux arts en* 1855, servant d'introduction à l'*Année scientifique et industrielle*, 1 vol. in-18, 2e édition, 1857, pages 29-44.

CHAPITRE XI

Tableau des principaux systèmes de machines à vapeur employées comme machines fixes dans les usines. — *Classification des machines à vapeur*. — Machine à condenseur et machine sans condenseur. — Machines à simple effet et machines à double effet. — Machines fixes, machines de navigation, locomotives et locomobiles. — *Types des principaux systèmes* : Machine de Watt. — Machine de Wolf. — Machines à cylindre horizontal. — Machines oscillantes. — Machines rotatives. — Principes nouveaux sur l'emploi de la vapeur comme force motrice.

Dans l'exposition des découvertes scientifiques, la méthode historique nous semble constituer le mode qui permet le plus aisément d'atteindre à la clarté. Mais on ne peut prétendre à obtenir ainsi un résultat complet, qu'à la condition de présenter, après l'exposé historique, une description générale des appareils résumant l'état actuel de la découverte que l'on étudie. Il nous reste donc à faire connaître les différentes dispositions qui sont en usage de nos jours pour appliquer à l'industrie la puissance mécanique de la vapeur d'eau.

CLASSIFICATION DES MACHINES A VAPEUR.

Rien n'est plus difficile que de donner une classification rigoureuse des machines à vapeur, en raison de la quantité innombrable de types différents qui sont en usage. Cette classification n'est possible qu'en considérant à part les différentes conditions de leur construction et de leur emploi.

Quand on considère la tension de la vapeur ou le nombre d'atmosphères de pression que cette vapeur exerce, on distingue les machines à vapeur en *machines à basse pression* et

machines à haute pression; cependant il est plus conforme aux faits de les désigner, dans ce cas, sous le nom de *machines à condenseur*, et de *machines sans condenseur;* établissons la différence qui sépare ces deux systèmes.

Les *machines à condenseur,* les premières que l'on ait construites, et les seules dont Watt ait fait usage, sont ainsi nommées parce que la vapeur, quand elle a produit son effort mécanique, s'y trouve condensée par l'eau froide. On a continué de les désigner sous le nom de machines *à basse pression*, parce que la vapeur n'y est ordinairement employée qu'à une pression médiocre, qui va d'une atmosphère et demie à deux atmosphères.

La *machine sans condenseur* est celle dans laquelle la vapeur se trouve rejetée librement dans l'air dès qu'elle a produit son effet. Ces machines sont toujours nécessairement à haute pression.

Quelles sont les raisons qui peuvent motiver dans une usine le choix d'une machine à vapeur à haute ou à basse pression? Si l'on dispose d'une quantité d'eau assez abondante pour fournir aux besoins de la condensation, il y a avantage à adopter la machine à condenseur; il suffit de donner à la surface du piston des dimensions convenables pour obtenir des machines réalisant tout l'effort nécessaire, et dans lesquelles la vapeur agit toujours à basse pression, c'est-à-dire à environ une atmosphère et demie. Mais si l'on ne peut se procurer facilement la quantité d'eau qui est nécessaire à la condensation, on est forcé d'employer des machines à haute pression qui marchent sans condenseur. Ajoutons que la machine à basse pression occupe une place considérable; au contraire la machine à haute pression, qui ne se compose guère que d'un cylindre et d'une bielle, ne demande qu'un emplacement médiocre : dans un grand nombre de cas, cette circonstance détermine le choix de la machine à haute pression.

Examinons maintenant les détails du mécanisme de la machine à vapeur selon qu'elle marche avec ou sans condenseur.

Machine à condenseur. — La machine à vapeur à basse pression et à condenseur, c'est-à-dire la machine communément désignée sous le nom de *machine de Watt*, ne se compose que d'éléments qui ont été précédemment analysés ; il nous suffira donc d'une légende ajoutée à la figure suivante pour faire comprendre son mécanisme et la destination de chacun de ses organes.

A est le cylindre dans lequel joue le piston par suite de

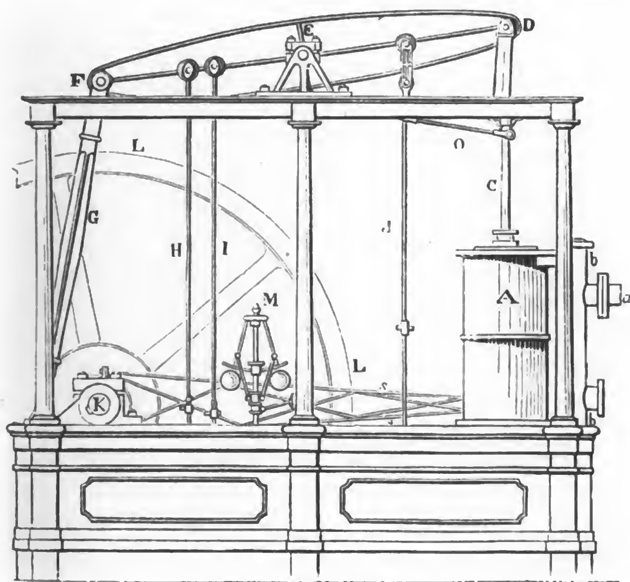


Fig. 17.

l'effort de la vapeur qui s'y introduit à l'aide du tube *a*; l'appareil connu sous le nom de *tiroir* est représenté par

les lettres *b, b;* il est destiné à faire passer la vapeur arrivant de la chaudière, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston, et en même temps à faire communiquer le condenseur, tantôt avec la partie supérieure, tantôt avec la partie inférieure du cylindre. Ce tiroir se compose d'une plaque métallique mobile jouant à l'intérieur de la capacité *b*, et mise en mouvement par l'arbre K de la machine, à l'aide de deux tringles *s*, *s*, convergeant l'une vers l'autre, qui mettent en mouvement un petit mécanisme connu sous le nom d'*excentrique*. En se déplaçant ainsi à l'intérieur de la capacité, cette plaque a pour effet de fermer et d'ouvrir successivement une communication qui existe entre la partie supérieure et la partie inférieure du cylindre; selon que cette ouverture est ouverte ou fermée, la vapeur peut s'introduire au-dessous ou au-dessus de la tête du piston.

C représente la tige du piston; au moyen du parallélogramme articulé O, cette tige transmet son mouvement au balancier de manière à lui imprimer un mouvement de va-et-vient autour de son axe E. A l'extrémité F du balancier est attachée une bielle ou tige G, qui vient s'articuler avec le bouton de la manivelle fixée à l'extrémité de l'arbre K, pour communiquer à cet arbre un mouvement de rotation. LL est une roue ou volant destiné à prévenir les irrégularités d'action du balancier, en répartissant les inégalités de son mouvement sur une grande masse placée à une certaine distance de l'axe de l'arbre. M est le régulateur à force centrifuge; lié par une courroie à l'arbre de la machine, il est destiné à régler l'entrée de la vapeur dans le cylindre, et à imprimer au mouvement une marche uniforme.

Le condenseur, qui se trouve caché dans la figure ci-contre, est disposé immédiatement au-dessous du cylindre. C'est une capacité communiquant par un tube avec le cylindre, et qui se trouve incessamment parcourue par un

courant d'eau froide destinée à produire la condensation de la vapeur. L'eau qui doit servir aux besoins de cette condensation est empruntée à une source ou à un cours d'eau voisin, à l'aide d'une pompe aspirante et foulante. Cette pompe est mise en action par une tige que l'on a représentée sur la figure par la lettre I; cette tige, reliée au balancier de la machine, lui emprunte son mouvement.

La capacité du condenseur se trouverait bientôt remplie d'eau, si une pompe ne l'extrayait à mesure qu'elle s'y accumule : tel est l'objet que remplit la pompe dont la tige est représentée sur la figure précédente par la lettre J. On la désigne communément sous le nom de *pompe à air*, parce qu'en même temps qu'elle extrait l'eau qui remplit le condenseur, elle en retire aussi l'air qui se dégage de l'eau froide lorsqu'elle arrive dans la capacité du condenseur où le vide existe partiellement.

L'eau chaude extraite du condenseur par la pompe à air se rend dans un réservoir d'où elle s'échappe hors de l'usine à l'aide d'un trop-plein. Cependant cette eau n'est pas rejetée tout entière; une petite partie en est aspirée par une pompe nommée *pompe alimentaire*, qui la refoule dans la chaudière, pour remplacer celle qui a disparu sous forme de vapeurs. La tige de la pompe alimentaire est indiquée sur la figure 17 par la lettre H. On voit que, comme la pompe à air, elle est mise en action par le balancier de la machine auquel elle se trouve liée.

La figure 18 est une coupe de la même machine faite à une grande échelle, et qui est destinée à montrer les dispositions intérieures et le jeu de l'appareil de condensation. En sortant du cylindre A, la vapeur s'échappe par le tuyau *d* dans le condenseur *e*. L'eau s'introduit dans ce condenseur par un tube muni d'un robinet *g*, qui règle la quantité d'eau qui s'introduit dans le condenseur. Le piston *h* muni de deux soupapes *i*. *i* appartient à la *pompe à air*, c'est-à-dire à la

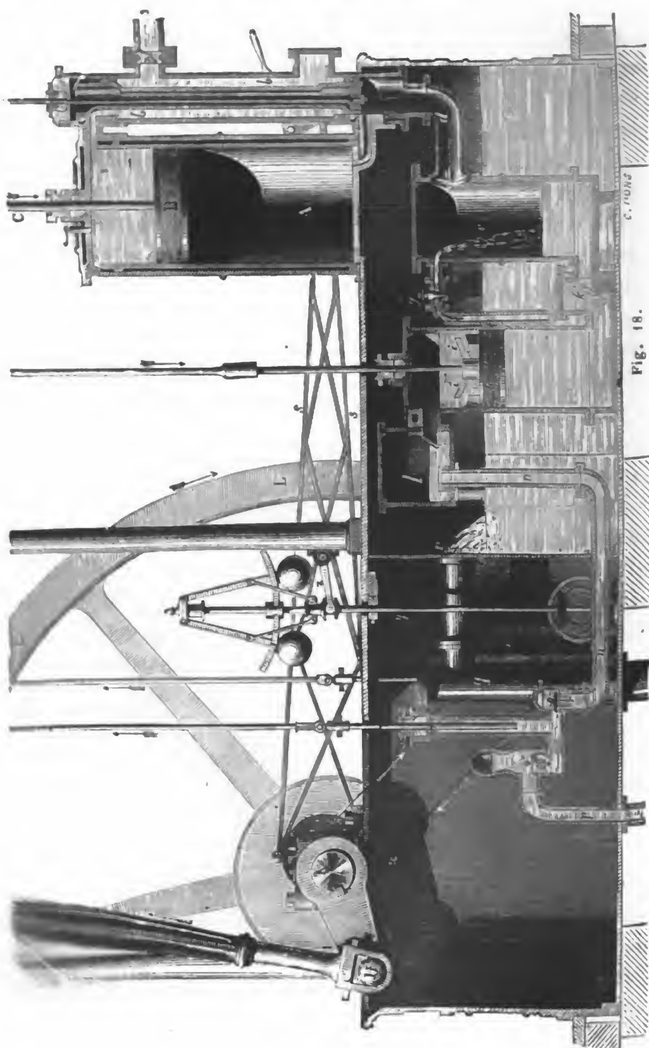


Fig. 18.

pompe qui a pour fonction de retirer constamment l'eau qui s'accumule dans le condenseur, et qui s'est échauffée par suite de la liquéfaction de la vapeur. Ce piston est manœuvré par une tige qui se rattache au balancier.

L'eau chaude extraite du condenseur se rend dans une bâche *l*. La plus grande partie de cette eau s'écoule au dehors par un trop-plein ; mais une certaine quantité en est aspirée par la *pompe alimentaire*, *m*, pour aller remplacer dans la chaudière l'eau qui en a disparu à l'état de vapeurs. Quand le piston *m* de cette pompe alimentaire s'élève, l'eau de la bâche *l* est aspirée par le tuyau *nn*, et traverse la soupape *o* qui est ouverte ; quand ce piston s'abaisse, la soupape *o* se ferme, la soupape *o'* s'ouvre, et l'eau se dirige vers l'intérieur de la chaudière en suivant le tuyau *p* qui l'amène dans cette capacité.

q représente le tuyau d'une pompe à eau aspirante et foulante qui approvisionne constamment d'eau froide le réservoir qui fournit de l'eau au condenseur *e*. Cette pompe puise de l'eau dans un puits, dans une rivière ou un cours d'eau quelconque, et le verse par l'orifice *r* dans une bâche spéciale, d'où elle s'écoule dans le condenseur par le tuyau et le robinet *g*. L'écoulement de cette eau est déterminé par l'excès de la pression atmosphérique qui agit librement dans le réservoir sur la très-faible pression qui existe dans le condenseur, par suite de la formation dans cet espace d'un vide partiel résultant de la condensation de la vapeur.

Telle est la machine à basse pression et à condenseur, ou *machine de Watt*. Elle est surtout d'un grand usage en Angleterre ; en France, elle est moins employée.

Dans les machines à basse pression, comme dans les machines sans condenseur, on fait usage de l'artifice de la détente, qui, d'après les principes précédemment indiqués, diminue notablement la consommation du combustible. Comme l'addition de la détente ne change rien à l'ensemble

du mécanisme, il serait inutile d'en donner une description particulière : toute la différence consiste dans la disposition du tiroir qui ne laisse entrer la vapeur dans le cylindre que pendant la moitié, le tiers, le cinquième, etc., de la course du piston, de telle sorte que la détente de la vapeur, c'est-à-dire sa dilatation dans le vide, agisse seule sur le piston pendant tout le reste de sa course. La plupart des machines actuelles sont construites de manière que le mécanicien puisse à volonté établir ou suspendre la détente ; elles permettent même de donner à la vapeur le degré de détente que l'on juge nécessaire d'employer.

Machines sans condenseur. — Dans ce second ordre de machines, d'un mécanisme infiniment plus simple, la vapeur, après avoir agi sur le piston, s'échappe dans l'air. Comme une grande quantité de vapeur est ainsi perdue, elles exigent un peu plus de combustible, à force égale, que les machines à basse pression. On les préfère pourtant, dans bien des cas, à la machine de Watt, en raison de la simplicité de leur mécanisme, qui permet aux constructeurs de les livrer à un prix inférieur. La machine à vapeur à haute pression, ne comportant ni condenseur ni pompe à air, est adoptée dans un grand nombre d'industries; elle est d'une adoption forcée dans les lieux où il est impossible de se procurer la quantité d'eau nécessaire à la condensation, et quand on ne peut disposer que d'un emplacement exigu.

Dans la machine à haute pression, on supprime presque toujours le balancier. On se contente de réunir l'extrémité de la tige du piston à une bielle, comme on le voit dans la figure 19. Seulement, comme la tige A du piston a besoin d'être guidée dans son mouvement pour ne pas être faussée par la résistance oblique qu'elle éprouve de la part de la bielle, on fait rouler son extrémité B entre deux coulisses E, E, de manière à la maintenir constamment en ligne droite malgré les mouvements d'élévation et d'abaissement de la

bielle. Par son libre mouvement dans l'espace EE, la tige BC met en action la manivelle CD, et imprime ainsi directement à l'arbre D un mouvement continu de rotation.

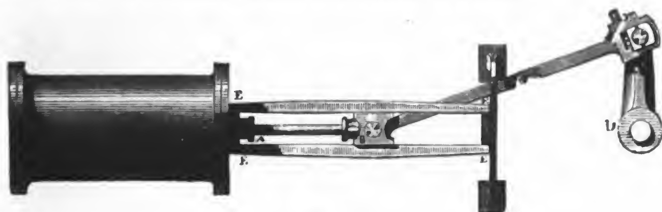


Fig. 19.

Les principes sur lesquels repose le jeu de la machine à haute pression ayant été exposés plus haut, la figure suivante (fig. 20) permettra de saisir tous les détails de son mécanisme.

A est le cylindre ou corps de pompe de la machine. Amenée de la chaudière dans ce cylindre, à l'aide du tuyau P, la vapeur vient y exercer sa pression sur les deux faces du piston, et une fois l'effet produit, se dégage dans l'air à l'aide d'un long tuyau de cuivre B qui la fait perdre au dehors. C, C, sont deux tiges directrices verticales qui servent à guider dans son mouvement la tige du piston. K est une seconde tige, ou bielle, qui, pourvue d'une articulation mobile à chacune de ses extrémités, transmet à la manivelle adaptée à l'arbre de la machine le mouvement du piston, et imprime à cet arbre un mouvement de rotation continu. I est une tige métallique qui fait marcher le tiroir MM ; par suite du déplacement de la plaque mobile qui parcourt l'intérieur de ce tiroir, la vapeur trouve accès tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la tête du piston. Cette tige est mise en mouvement par l'arbre de la machine auquel elle est rattachée. D est le régulateur de Watt à force centrifuge; à l'aide de la tige L et du levier coudé qui lui fait suite, il régularise l'entrée de la vapeur dans le cylindre

en dilatant ou rétrécissant l'orifice qui donne accès à la vapeur. F est la tige qui met en action la pompe alimentaire E,

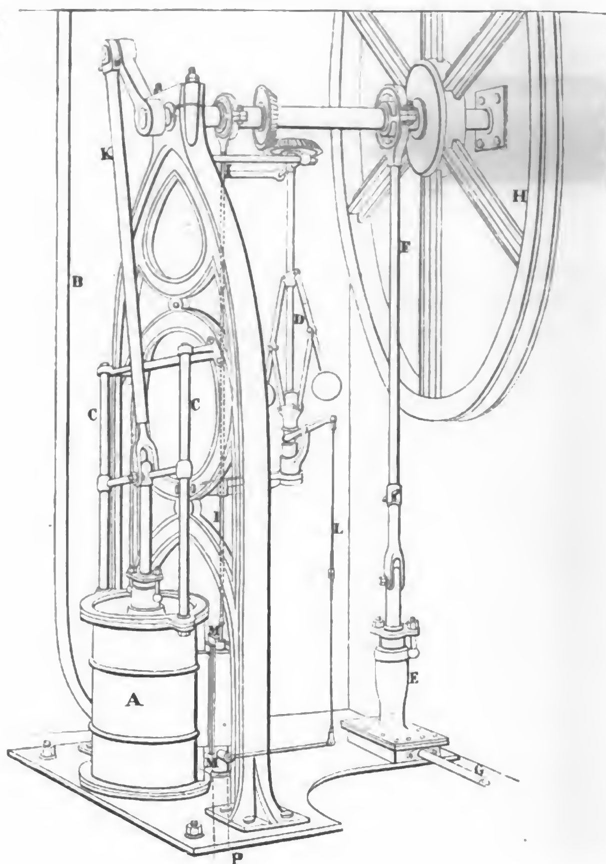


Fig. 20.

destinée à remplacer l'eau de la chaudière à mesure que celle-ci disparait en vapeurs. Cette tige, reliée à l'arbre de

la machine, est mise en mouvement par lui, et fait agir la pompe E, qui, puisant de l'eau froide dans un réservoir situé au-dessous, la dirige, à l'aide du tube G, dans l'intérieur de la chaudière. Cette pompe alimentaire peut fonctionner constamment ou seulement d'une manière intermittente. Si le chauffeur veut suspendre son action, il lui suffit d'enlever la clavette mobile qui rattache les deux parties de la tige EF; le mouvement du piston de la pompe est ainsi suspendu, et la tige F fonctionne *à vide*, c'est-à-dire agit sans transmettre son mouvement à la pompe. Enfin, H est la roue ou le volant de la machine, qui a pour fonction de régulariser son mouvement, parce qu'il le répartit sur une masse considérable éloignée de son centre d'action.

Tel est le type général de la machine à vapeur dite *sans condenseur* ou à *haute pression*. Il faut ajouter seulement que l'on s'arrange toujours pour que la vapeur, avant de se perdre dans l'atmosphère, vienne traverser le réservoir d'eau froide destinée à l'alimentation de la chaudière, afin de profiter d'une partie de la chaleur emportée par cette vapeur. Le tuyau qui rejette la vapeur hors de l'usine traverse donc l'eau d'alimentation et l'échauffe; lorsque cette dernière s'introduit dans la chaudière, elle possède déjà une température assez élevée, ce qui économise une certaine partie du combustible. Cette disposition, fort simple à comprendre, n'a pas été représentée sur la figure, pour ne rien lui enlever de sa clarté.

On a cru longtemps que les machines à haute pression étaient plus dangereuses que celles où la vapeur n'agit qu'à une ou deux atmosphères. Ce préjugé existe encore dans le public et chez quelques chefs d'usine; mais le relevé des explosions de chaudières qui ont eu lieu en France et en Angleterre a prouvé qu'il est arrivé plus de sinistres avec les machines à basse pression qu'avec les autres.

La machine à haute presion est employée avec grand avan-

tage toutes les fois que l'on n'a besoin que d'une force motrice d'une intensité médiocre. La régularité de son action, sa simplicité extrême, son prix peu élevé, lui font bien souvent accorder la préférence sur la machine à condensation, d'un prix considérable, d'une installation souvent difficile, et qui exige un grand emplacement et une source d'eau abondante pour suffire aux besoins de la condensation.

Ce genre de machine à vapeur n'est d'un emploi réellement économique, relativement à la machine à basse pression, que quand on y fait agir la vapeur avec détente. Employée sans détente, elle est d'un usage dispendieux. Aussi fait-on maintenant toujours usage dans les machines à haute pression de la détente de la vapeur.

Les deux systèmes qui viennent d'être décrits, c'est-à-dire les machines à haute pression et à basse pression, sont loin de s'exclure l'un l'autre. On les combine en effet avec avantage. On construit aujourd'hui, comme nous aurons occasion de le montrer dans le chapitre suivant, un grand nombre de machines qui marchent à haute pression et qui sont néanmoins munies d'un condenseur. Beaucoup de machines fixes employées dans les manufactures, plusieurs des machines à vapeur qui fonctionnent à bord des bateaux de rivière, sont pourvues de ce double système.

Si l'on considère le mode d'action de la vapeur, on doit diviser les machines à vapeur en *machine à simple effet* et *à double effet*. Dans la *machine à simple effet*, la vapeur n'agit que sur l'une des faces du piston, pour produire son oscillation ascendante; la chute du piston est déterminée par le poids de l'atmosphère s'exerçant sur la surface supérieure. Dans la *machine à double effet*, la vapeur vient agir successivement sur les deux faces du piston pour le soulever et l'abaisser alternativement.

Quand il ne s'agit que de produire un mouvement mécanique intermittent et non continu, tel est le cas des pompes pour l'élévation des eaux dans les mines, ou pour l'alimentation du réservoir d'eau des villes, c'est à la machine à simple effet que l'on a recours. Les machines du Cornouailles, la pompe à feu de Chaillot qui a été reconstruite en 1854, et celle du Creusot qui sert à l'épuisement des eaux dans les mines, sont construites dans le système à simple effet de Watt. Pour quelques outils employés dans les ateliers mécaniques, tels que les moutons à vapeur, les découpoirs à vapeur de M. Cavé, on se sert aussi d'une machine à simple effet. On a fait récemment quelques essais pour revenir aux machines à simple effet dans les appareils à vapeur destinés à la propulsion des bateaux. M. Seeward, de Londres, a appliqué à la navigation la machine à simple effet sur le navire à hélice le *Wonder*, de la force de 1,000 chevaux, dont un modèle a figuré à l'Exposition universelle de Paris en 1855. L'appareil moteur était composé de trois cylindres réunis marchant à simple effet; mais cette tentative n'a pas été imitée.

Sauf les cas que nous venons de considérer, et qui sont peu nombreux, toutes les machines à vapeur employées dans l'industrie sont à double effet.

Pour terminer ce qui concerne la classification des machines à vapeur, nous dirons que quand on considère leur service, on les divise en *machines fixes*, pour l'usage des ateliers et des usines, en *machines de navigation*, en *locomotives* et *locomobiles*.

PRINCIPAUX SYSTÈMES OU TYPES DE MACHINES A VAPEUR.

Après ce qui se rapporte à la classification générale des appareils mécaniques à vapeur, il nous reste à passer en re-

vue les principaux systèmes adoptés aujourd'hui pour leur construction.

Bien que les formes que l'on donne aujourd'hui à la machine à vapeur varient à l'infini, on peut les rapporter à cinq types principaux :

1° La *machine à un seul cylindre vertical*, ou *machine de Watt ;*

2° La *machine à double cylindre vertical,* ou *machine de Wolf ;*

3° La *machine à cylindre unique horizontal ;*

4° La *machine à cylindre oscillant ;*

5° La *machine rotative.*

1° *Machine à un seul cylindre vertical*, ou *machine de Watt.* — Cette machine, qui est tantôt à simple, tantôt à double effet, a été décrite avec assez de détails dans le chapitre précédent pour que nous n'ayons pas à y revenir. C'est la machine encore adoptée de préférence en Angleterre, où elle est toujours le type à peu près exclusif dans les ateliers, bien qu'elle consomme beaucoup de combustible, c'est-à-dire 5 à 6 kilogrammes par heure et par force de cheval. A l'Exposition universelle de Paris en 1855, l'Angleterre n'avait envoyé qu'une seule machine à vapeur, c'était une machine verticale de Watt, due à M. Fairbairn, l'un des constructeurs les plus célèbres de la Grande-Bretagne, et elle ne présentait pas la plus légère innovation. En France, où l'esprit de progrès et de perfectionnement est beaucoup plus marqué que chez nos voisins, on abandonne de jour en jour ce monumental appareil, qui, sans doute, assure au mouvement une grande régularité par le remarquable ensemble établi entre ses divers organes, qui peut marcher à volonté, à basse, à moyenne ou à haute pression, avec ou sans détente, avec ou sans condensation, mais qui a l'inconvénient d'être extrêmement volumineux, d'exiger un grand emplacement en hauteur et longueur, de renfermer beaucoup de

matière, et d'être par conséquent lourd et d'un achat coûteux.

Les machines de Watt, ou *à un seul cylindre vertical*, transmettent le mouvement à un arbre disposé à la partie supérieure du bâti. Elles conviennent surtout aux ateliers, tels que filatures, ateliers de constructions mécaniques, etc., où l'on emploie des arbres de transmission fixés vers le plafond, et qui distribuent le mouvement aux différents établis répandus dans l'atelier.

Quand, au lieu de placer le balancier de la machine de Watt à la partie supérieure du bâti, on place ce balancier, grâce à un renvoi de mouvement, près du sol, ou pour mieux dire, sur la plaque de fondation, on obtient la *machine à balancier latéral*, qui sert, dans un grand nombre de navires à vapeur, à mettre en action les roues motrices.

2° *Machine de Wolf, ou à deux cylindres.* — La machine de Wolf, dont nous avons donné plus haut la description et la figure (page 174), est d'un grand usage en France ; c'est l'appareil moteur des filatures et des ateliers de tissage. L'économie qui résulte de son système si commode de détente opéré dans un cylindre auxiliaire, et la régularité de son mouvement, lui ont conquis une juste faveur dans l'industrie française. Elle a, en effet, l'avantage remarquable d'utiliser la détente de la vapeur tout en faisant disparaître les causes d'irrégularité de mouvement qu'entraîne l'emploi de la détente. Un constructeur renommé, M. Legavrian, de Lille, a récemment perfectionné cette machine, en lui adjoignant un troisième cylindre pour pousser plus loin la détente de la vapeur et adoucir encore le mouvement. Une machine ainsi modifiée, et de la force de quarante chevaux, a figuré à l'Exposition universelle de 1855.

3° *Machines à cylindre unique horizontal.* — Les machines à cylindre unique disposé horizontalement sont les plus employées dans notre industrie ; c'est la disposition aujourd'hui à la mode en France.

Avec les machines de Watt ou de Wolf, pourvues d'un énorme balancier oscillant autour de son point d'appui, et d'un lourd volant, on a un véritable monument métallique architectural, avec soubassement, colonnes, chapiteaux, entablement, etc. Mais cette masse, élevée en l'air, est exposée à entraîner le dérangement de l'appareil par le bris d'un support, la flexion d'une tige, l'inégale compressibilité du terrain, etc. De là, la nécessité, outre le prix considérable de l'achat et du premier établissement de cette machine, d'un soin et d'une surveillance assidus.

C'est pour parer à ces divers inconvénients que l'on a pris le parti, après plusieurs essais plus ou moins timides, de coucher horizontalement le cylindre, qui avait toujours conservé jusque-là sa position verticale, et cette disposition réalise un grand nombre d'avantages. Supérieure à la précédente sous le rapport de la stabilité, la machine horizontale s'applique plus immédiatement à une multitude d'industries ; elle supprime le mécanisme intermédiaire pour la transmission des mouvements, et permet de faire agir directement la puissance mécanique sur l'outil ou la résistance à mouvoir. Faciles à établir, les machines horizontales permettent à l'ouvrier de les visiter à chaque instant et de s'assurer de l'état de leurs différentes pièces. Enfin, leur prix est peu élevé, et elles reçoivent avec beaucoup de facilité l'adjonction de la détente, ce qui les rend très-économiques dans l'emploi journalier. Le seul reproche qu'on leur adresse, c'est d'occuper beaucoup d'espace en longueur et de ne pouvoir se prêter à la condensation, c'est-à-dire de marcher toujours forcément à haute pression.

4° *Machines oscillantes*. — Dans ce genre de machines, qui diffèrent essentiellement des précédentes, on supprime la bielle, et l'on articule directement la tige du piston à la manivelle qui fait tourner l'arbre moteur. Pour rendre ce mécanisme applicable, il a fallu donner de la mobilité au

cylindre à vapeur lui-même, afin que la tige de son piston pût toujours être dirigée suivant son axe, malgré les diverses positions de la manivelle. Voici comment on est parvenu à atteindre ce résultat, qu'il était assez difficile de réaliser.

On fait supporter le cylindre A par deux tourillons E, autour desquels il oscille en tournant tantôt à droite, tantôt à gauche. Pour que le piston puisse toujours donner au cylindre qu'il entraîne une position convenable, on munit sa tige de deux roulettes F, F, glissant entre deux tringles. Comme les tourillons E sont les seules parties du cylindre qui restent immobiles pendant le mouvement continuel de la machine, c'est par l'intérieur de l'un d'eux que s'introduit la vapeur arrivant de la chaudière; la vapeur qui a cessé d'agir s'échappe par le tourillon opposé. Les tiroirs qui sont destinés à distribuer la vapeur sont portés par le cylindre et suivent ses mouvements.

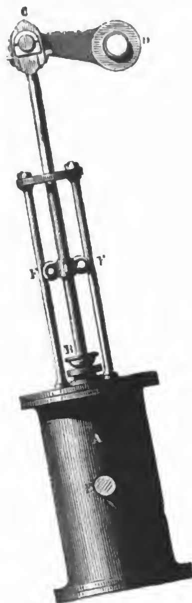


Fig. 21.

Les machines oscillantes, construites pour la première fois en Angleterre, en 1817, par Mamby, ont été importées en France par M. Cavé. Leur disposition est en elle-même défectueuse, car tout l'effet de résistance s'y trouve supporté par deux tourillons mobiles, tandis que la condition première d'une bonne machine, c'est la solidité et l'inébranlable fixité des points d'appui. Aussi ce genre de machines à vapeur n'est-il pas propre à soutenir de longues années de travail; il nécessite de fréquentes réparations. L'avantage principal des machines oscillantes

réside dans leur peu de volume; elles conviennent particulièrement quand on est limité par l'emplacement.

Depuis l'année 1840 jusqu'à l'année 1855, on a fait un assez grand emploi des machines oscillantes, particulièrement pour les navires à vapeur, dans la vue de réduire l'espace occupé à bord du navire par le mécanisme moteur. Mais l'usure extrêmement prompte des tourillons mobiles donnant accès à la vapeur, c'est-à-dire de la partie fondamentale de l'appareil, la difficulté de réparer ces avaries, enfin les obstacles qu'éprouve la vapeur à circuler dans les coudes et réflexions du tuyau distributeur, ont fait généralement abandonner aujourd'hui les machines de ce genre.

5° *Machines rotatives.* — Ces machines sont fondées sur des principes très-différents de ceux que nous avons considérés jusqu'ici. Leur but, c'est de supprimer toute espèce de moyen de transmission entre la force de la vapeur et le point d'application de cette force. Pour cela, au lieu de faire agir la vapeur dans un cylindre pourvu d'un piston, lequel est muni d'une bielle, laquelle agit ensuite sur un balancier, etc., on a eu l'idée de placer tout l'appareil moteur sur l'arbre même de la machine, de manière à supprimer tout engrenage et tout organe mécanique intermédiaire. Voici comment on est parvenu à ce résultat.

Une sorte de tambour creux et divisé en plusieurs compartiments qui communiquent entre eux par des soupapes, est porté sur l'arbre même de la machine, et peut, par conséquent, faire tourner cet arbre, par suite de son propre mouvement de rotation. La vapeur s'introduit dans l'un des compartiments intérieurs de ce tambour et s'écoule dans le condenseur: de nouvelle vapeur, arrivant ensuite par le même compartiment, vient y exercer sa pression, et cette pression n'étant plus contre-balancée, puisque le vide existe dans le compartiment qui suit, le tambour reçoit un mouvement de progression. Comme des effets semblables s'o-

pèrent au même instant sur plusieurs points du tambour, il résulte de ces impulsions réunies un mouvement rapide et continu de rotation imprimé au tambour qui se transmet nécessairement à l'arbre de la machine auquel le tambour est fixé.

L'idée des machines rotatives appartient à James Watt, qui l'a nettement formulée dans l'article 5 de son premier brevet. Un des plus illustres mécaniciens français, Pecquœur, a, le premier, exécuté une machine rotative susceptible d'application. Ce genre d'appareil a beaucoup frappé à une certaine époque l'attention des mécaniciens : on voulait y voir le germe d'une révolution dans le mode d'emploi de la vapeur. Ces espérances étaient exagérées. Bien que les machines rotatives n'aient jamais reçu de véritables applications en grand, on a pu constater qu'elles ont l'inconvénient très-grave de nécessiter une dépense excessive de combustible. Elles consomment, en effet, de 8 à 10 kilogrammes de houille par heure et par force de cheval : ce rapport excède de beaucoup les pertes qu'il est raisonnable de tolérer pour l'emploi d'une machine, quels que soient les avantages qu'elle puisse offrir sous le rapport de sa simplicité et de son utilité spéciale pour un travail déterminé.

Cependant la machine rotative repose sur un principe excellent, et il serait téméraire de la condamner d'une manière absolue. Quelques perfectionnements apportés à l'ensemble de ses dispositions, l'emploi de la détente, des moyens plus faciles de construire et d'ajuster les pièces qui la composent et qui exigent une grande précision, permettraient sans doute de tirer un parti sérieux de cet appareil.

Nous terminerons ce chapitre en jetant un coup d'œil rapide sur les principes qui, de nos jours, règlent ou tendent de plus en plus à régler la construction et l'installation des machines à vapeur.

Le principe le plus important, celui qui domine aujourd'hui dans la construction de ces appareils, c'est d'approprier chaque genre de machine à l'usage particulier qu'elle doit remplir. Nos constructeurs ne s'attachent plus à fabriquer, comme autrefois, la machine à vapeur d'après un type uniforme et commun, mais au contraire à varier ses dispositions et son mécanisme suivant le travail spécial auquel on la destine. Il y a peu de temps encore, on demandait à la même machine les applications les plus différentes et quelquefois les plus hétérogènes ; quel que fût l'usage auquel elle était destinée, on la construisait toujours sur le même type. Il en est autrement aujourd'hui. Chaque branche d'industrie, et même chaque subdivision de l'une de ces branches imprime à la machine à vapeur une disposition applicable au travail spécial qu'il s'agit d'effectuer. La vapeur n'est plus aujourd'hui qu'un instrument, qu'un outil, pour dire ainsi, auquel on s'applique à donner les formes les plus convenables à l'objet particulier qu'il doit remplir.

Un second principe auquel on tend de plus en plus à obéir aujourd'hui dans la construction des machines à vapeur, c'est de se passer, autant qu'on le peut, de ces organes intermédiaires, destinés à transmettre le mouvement, et que l'on employait autrefois sous tant de formes différentes. Ces moyens de renvoi sont supprimés toutes les fois que cette suppression peut se faire sans nuire au jeu de la machine. Dans ce cas, c'est la tige même du piston sortant du cylindre à vapeur qui est employée comme agent direct du mouvement.

Quelques exemples vont montrer l'application de ce fait. Dans la construction des machines destinées à l'élévation des eaux, on se contente souvent aujourd'hui de placer au-dessus de l'ouverture du puits un cylindre à vapeur, le couvercle en bas ; et c'est la tige même du piston qui imprime, sans aucun intermédiaire, le mouvement aux pompes

qui opèrent l'élévation des eaux. Dans les grandes usines destinées à l'extraction et au travail des métaux, telles que fonderies, ateliers de laminage, etc., c'est la tringle même du piston du cylindre à vapeur qui met en mouvement des marteaux pesant 5 à 6000 kilogrammes. On fait agir de la même manière une tige à vapeur pour faire office de pilon et opérer la pulvérisation de diverses substances. Les machines soufflantes utilisent, suivant le même procédé, le mouvement direct de la vapeur sans aucun organe de transmission. C'est enfin par la même disposition que l'on peut, à l'aide de la tringle d'un cylindre à vapeur, percer, couper, emboutir le fer, le cuivre ou la tôle. En un mot, toutes les fois qu'il est possible de supprimer les moyens intermédiaires pour la communication du mouvement, on réalise cette importante et utile simplification de mécanisme, auquel la vapeur, mieux que tout autre agent moteur, se prête avec facilité.

Cette espèce de révolution qui s'est opérée depuis quelques années dans la distribution de la force motrice, cette intelligente modification apportée à l'emploi de la vapeur, frappent les yeux quand on entre dans un atelier de constructions mécaniques, dans une usine à fer, etc. Dans ces usines, on voyait autrefois la force motrice concentrée sur un seul point et produite par une seule machine à vapeur ; elle rayonnait ensuite de là, en diverses directions, au moyen de poulies, de courroies, de renvois de mouvement, etc. Cette disposition entraînait la perte de beaucoup de force par les frottements multipliés, et obligeait souvent à faire mouvoir une machine très-considérable pour ne produire qu'un effort très-faible applicable à un travail particulier. Aujourd'hui, au lieu d'une seule machine imprimant, par des transmissions, le mouvement à tous les outils de l'atelier, on a autant de petites machines que d'établis ou de groupes d'outils. Une chaudière unique envoie

la vapeur qui, se divisant dans un grand nombre de tubes secondaires, va porter à la fois le mouvement et la force en un grand nombre de points; de telle sorte que l'ouvrier, en ouvrant simplement un robinet, a sous la main la puissance mécanique dont il a besoin, sans qu'il soit nécessaire de recourir aux courroies, aux embrayages, etc. On a pu, grâce à ce nouveau système, appliquer à chaque opération le type de machine à vapeur qui est le mieux approprié à ce travail. Un simple cylindre avec son piston placé en bas suffit pour composer le *mouton à vapeur;* en tournant un robinet pour l'admission de la vapeur, l'ouvrier élève à la hauteur nécessaire la lourde masse métallique qui doit faire office de marteau; il la fait retomber en lâchant dans l'air, à l'aide d'un autre robinet, la vapeur qui remplissait le cylindre. Le martelage, le cinglage, le laminage des fers, se font au moyen d'une machine spéciale appropriée à chacun de ces cas; le chariot qui dirige les grosses pièces sous le laminoir fonctionne encore au moyen d'un simple cylindre à vapeur disposé particulièrement pour ce travail. Tous ces faits caractérisent suffisamment et font comprendre l'espèce de révolution qui s'est opérée depuis quelque temps dans le mode d'emploi de la vapeur.

Un autre principe nouveau, et qui tend à recevoir plus d'extension de jour en jour, consiste dans l'usage des *grandes vitesses*. La nécessité, qui se rencontre si souvent dans l'industrie, de réduire le poids et les dimensions des machines motrices, les avantages que procure cette réduction, ont amené à substituer aux machines d'un grand volume et d'une force considérable des machines de dimensions plus faibles, mais qui produisent des mouvements infiniment plus rapides. Ainsi, dans les usines métallurgiques où l'on fond les métaux en faisant usage de courants d'air considérables dirigés dans le foyer, au lieu d'employer des machines soufflantes marchant à 1 mètre par seconde, et qui exigent

des cylindres à vapeur et des cylindres soufflants de très-grandes dimensions, on se sert de cylindres à vapeur plus petits, mais dans lesquels la vapeur, affluant par de larges orifices et agissant instantanément sur le piston, imprime à celui-ci une vitesse quintuple et décuple du cas précédent. Construites d'après ce principe, les machines à vapeur peuvent, avec des dimensions cinq ou six fois moindres, produire les mêmes effets mécaniques. C'est le même principe qui a conduit à transmettre l'action du moteur principal à des arbres d'un petit volume, qui prennent dès lors des vitesses considérables. C'est parce qu'il permet de réaliser immédiatement les grandes vitesses que le système des machines à vapeur rotatives nous paraît appelé à un avenir sérieux.

On a donné le nom assez significatif de *trotteuses* aux machines construites en vue de la production immédiate des grandes vitesses. On voyait, à l'Exposition universelle de 1855, une machine de ce genre due à M. Flaud, et qui, malgré sa force de vingt chevaux, n'occupait pas plus de place qu'une machine de deux à trois chevaux. Elle imprimait au volant une vitesse de deux cent cinquante tours par minute.

Les machines dites *trotteuses* ont l'inconvénient de s'user assez promptement et d'être peu économiques, parce qu'elles admettent très-difficilement la détente, mais elles rendent de grands services aux industries spéciales qui ont besoin de disposer d'un moteur puissant n'occupant qu'un très-petit espace et n'offrant que peu de masse, et par conséquent peu de poids.

CHAPITRE XII

Description des principaux organes des machines à vapeur en général. — Les chaudières. — Les soupapes de sûreté. — Les manomètres. — Le flotteur d'alarme, etc.

Après avoir fait connaître les principaux types de machines qui sont aujourd'hui en usage dans l'industrie pour tirer parti de la force élastique de la vapeur d'eau, il nous reste à décrire les différents organes qui sont communs à tous les genres de machines à vapeur. Nous nous occuperons d'abord de la forme et des dispositions adoptées pour la construction des chaudières ; nous passerons ensuite en revue les appareils de sûreté qui servent à indiquer l'état de la pression et à prévenir l'explosion des chaudières.

Chaudières. — Dans les premières machines à vapeur, c'est-à-dire dans celles de Savery et de Newcomen, on donnait à la chaudière une forme demi-sphérique. Comme à cette époque la crainte de l'explosion préoccupait avant tout, cette forme fut choisie comme offrant le plus de résistance à la pression de la vapeur. Mais, plus tard, quand la crainte du danger s'affaiblit par l'habitude, lorsque l'expérience eut fait connaître la résistance précise offerte par un métal à une épaisseur donnée, on abandonna la forme sphérique qui, à volume égal, offre le moins de surface. Les chaudières de Watt, communément appelées *chaudières prismatiques* ou *à tombeau*, étaient concaves par le fond, cylindriques à la partie supérieure, et verticales sur les côtés. Watt avait adopté la forme concave pour la partie inférieure de ses chaudières, parce qu'il pouvait ainsi augmenter l'étendue de la surface soumise à l'action du feu. Ces sortes de chau-

dières sont encore employées quelquefois aujourd'hui, lorsque la tension de la vapeur ne doit pas dépasser deux atmosphères.

Mais des dispositions toutes différentes sont adoptées pour la construction des générateurs qui doivent fournir de la vapeur d'une tension considérable. La quantité de vapeur fournie par une chaudière ne dépend ni de sa capacité, ni du volume d'eau qu'elle renferme; elle dépend seulement de l'étendue de la surface offerte à l'action du feu. On admet que 1 mètre carré de surface chauffée peut donner moyennement 40 kilogrammes de vapeur par heure; la forme de cette surface est d'ailleurs indifférente. D'après cela, pour produire rapidement une grande quantité de vapeur, il faudrait donner à la chaudière une longueur très-considérable, afin qu'elle présentât à l'action du feu toute la surface nécessaire. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on construit aujourd'hui les chaudières dites *à bouilleurs*, connues à l'étranger sous le nom de *chaudières françaises*. Elles consistent en deux chaudières superposées de grandeur inégale et communiquant entre elles par de gros tubes. Comme les *bouilleurs*, c'est-à-dire l'ensemble de la chaudière inférieure, reçoivent la première action du feu qui altère particulièrement le métal, on peut les changer à mesure qu'ils sont usés; la chaudière principale peut ainsi durer

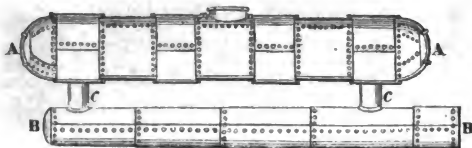


Fig. 22.

très-longtemps. La figure 22 représente une chaudière de cette espèce.

A est le corps de la chaudière principale; B, l'un des deux

bouilleurs; C,C, les gros tubes qui établissent la communication entre les deux bouilleurs et la chaudière principale.

Les deux figures suivantes représentent la chaudière à bouilleurs établie dans son fourneau et munie de tous ses accessoires, tant pour la chaudière elle-même que pour le foyer. La figure 23 est une coupe longitudinale du fourneau destinée à faire voir la chaudière dans le sens de sa longueur; la figure 24 est une coupe transversale de ce fourneau et de la chaudière.

A (fig. 23) est le corps de la chaudière; BB, l'un des deux bouilleurs; D, une cloison horizontale qui règne dans toute

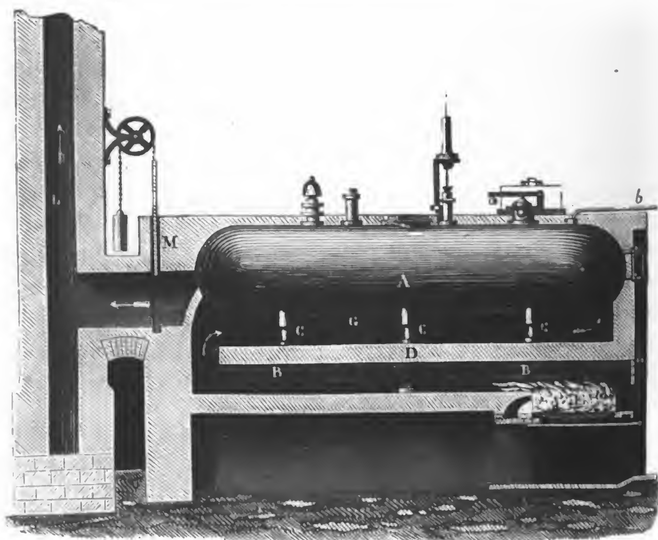


Fig. 23.

la longueur du fourneau à la hauteur des bouilleurs. Deux autres cloisons verticales, disposées contre les bouilleurs C, divisent en trois compartiments l'espace qui reste libre entre

cette cloison horizontale et la partie inférieure du corps de la chaudière.

Voici maintenant quelle est la marche de la flamme qui doit venir se mettre successivement en contact avec toutes les parties de la surface externe de la chaudière. Sortant du foyer E (fig. 23), la flamme se rend d'abord dans le conduit F (fig. 24), et se dirige du fond du fourneau à la partie postérieure de la chaudière; elle passe de là dans le compartiment G, c'est-à-dire au-dessous du corps principal de la chaudière. Arrivée à l'extrémité de ce conduit G, elle se divise en deux parties et retourne à la partie postérieure de la chaudière en passant par les conduits latéraux H, H, qui portent le nom de *carneaux*. Enfin, à la sortie des carneaux, la flamme se rend dans la cheminée L (fig. 23). Un registre M, équilibré par un contre-poids, a pour fonction de fermer ou d'ouvrir plus ou moins complétement le tuyau de la cheminée, et, par conséquent, de modérer ou d'activer le tirage, c'est-à-dire l'appel de l'air pour l'entretien de la combustion.

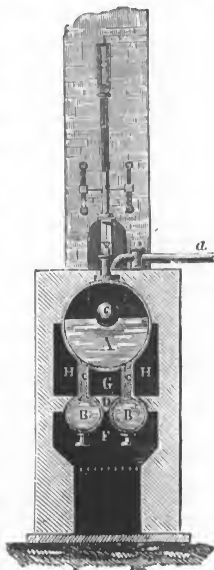


Fig. 24.

On donne aux chaudières une longueur qui est cinq à six, et quelquefois jusqu'à dix fois leur diamètre. L'expérience a montré que ce diamètre intérieur ne doit jamais dépasser 1 mètre. Lorsque la quantité de vapeur ainsi produite est insuffisante pour l'effet mécanique que l'on veut produire, au lieu d'augmenter le diamètre de la chaudière, on préfère en employer plusieurs. C'est, comme nous le verrons, le cas des bateaux à vapeur.

Les chaudières et les bouilleurs peuvent être construits en

fonte, en cuivre ou en tôle. Appliquée à la construction des chaudières, la fonte ne donne que de mauvais résultats; aussi l'usage des chaudières de ce genre est-il interdit à bord des bateaux, et l'on n'en construit même qu'un très-petit nombre pour les machines destinées à fonctionner sur terre; car, par suite de la faible résistance de la fonte, on est obligé de leur donner beaucoup plus d'épaisseur qu'aux chaudières de tôle, et leur prix devient ainsi de fort peu inférieur à celui de ces dernières. Les chaudières de cuivre ont été longtemps employées par nos constructeurs, mais l'épaisseur qu'il faut donner au cuivre laminé, et qui est égale à celle que devrait avoir la chaudière si elle était de tôle et de fer, augmente de beaucoup leur prix; aussi ne sont-elles guère employées que lorsque les eaux d'alimentation sont très-corrosives et détruiraient rapidement le fer. La tôle est donc à peu près uniquement employée aujourd'hui pour la construction des chaudières; la grande ténacité du fer et le prix peu élevé de ce métal lui assurent, sous ce rapport, des avantages que rien ne peut contre-balancer, surtout lorsque les houilles sont peu sulfureuses, et ne sont pas, par conséquent, de nature à altérer le métal.

Lorsque l'eau a été entretenue pendant quelques semaines en ébullition dans une chaudière, elle y dépose, par le fait de son évaporation, un sédiment terreux. Les eaux dont on se sert pour alimenter les chaudières tiennent toujours en dissolution une quantité plus ou moins grande de sels formés d'un mélange de sulfate de chaux et de carbonate de chaux; par l'effet de la concentration, ces sels finissent par se déposer contre les parois de la chaudière. Or, la présence de cette croûte terreuse à l'intérieur du générateur offre des inconvénients de plus d'un genre. Comme par son interposition elle empêche le contact immédiat de l'eau et du métal, elle retarde la transmission de la chaleur dont elle absorbe une partie à son profit; elle peut en outre occa-

sionner l'altération de la chaudière, parce que la partie qui se trouve ainsi recouverte s'échauffe à une température assez élevée pour déterminer l'oxydation du métal, et par conséquent sa destruction. Enfin, la présence de ces sédiments devient souvent la source d'un danger des plus graves, car elle peut aller au point de provoquer l'explosion de la machine. Lorsqu'en effet cette sorte d'enveloppe pierreuse a fini par se former au fond d'une chaudière, il peut arriver que, par suite de la dilatation inégale que la croûte terreuse et le métal qu'elle recouvre éprouvent par l'action de la chaleur, cette croûte vienne subitement à se déchirer ; l'eau qui existe dans la chaudière se trouve dès lors mise subitement en contact avec une surface métallique chauffée à une température excessive, et il se forme aussitôt une quantité de vapeur tellement considérable, qu'elle peut déterminer une explosion.

On était forcé autrefois de nettoyer le générateur tous les quinze à vingt jours afin d'enlever ces dépôts terreux, mais comme ils adhéraient très-fortement au métal, il fallait les attaquer avec des instruments d'acier, ce qui n'était pas sans nuire à la chaudière. Aujourd'hui, au lieu d'enlever ce sédiment une fois formé, on s'arrange pour prévenir sa production. Le moyen employé pour cela consiste à placer dans la chaudière différents corps étrangers sur lesquels les sels calcaires viennent se déposer au lieu de s'attacher aux parois du métal. Tel est l'effet que produisent les raclures de pommes de terre ou le son, que, dans beaucoup d'usines, on mêle à l'eau du générateur, Cependant, comme ces corps ont l'inconvénient de faire mousser le liquide, qui quelquefois passe jusque dans l'intérieur des tubes, on se sert plus généralement aujourd'hui d'argile délayée dans l'eau, qui s'oppose à l'agrégation des dépôts terreux. Des fragments de verre, des rognures de fer-blanc, de tôle ou de zinc, par leur mouvement continuel au sein du liquide, et contre

les parois du générateur, peuvent aussi prévenir les incrustations. Grâce à l'emploi de ces divers moyens, on empêche les sels terreux de se précipiter en couches continues et adhérentes, et l'on obtient un dépôt boueux qui n'adhère point à la chaudière : il suffit dès lors de vider celle-ci tous les quinze à vingt jours pour chasser l'eau vaseuse qui en occupe le fond.

Appareils de sûreté. — Les accidents nombreux et les malheurs auxquels ont donné lieu les explosions, autrefois trop fréquentes, des chaudières à vapeur, ont naturellement éveillé toute la sollicitude des mécaniciens. Les différents appareils de sûreté dont la loi impose sagement la nécessité à nos constructeurs constituent un des systèmes les plus importants de ces machines; nous les examinerons avec soin. Cependant avant d'indiquer les moyens efficaces que l'on oppose à l'explosion des chaudières, il est nécessaire de signaler les causes principales de ce redoutable phénomène.

Si l'épaisseur des parois du métal est insuffisante pour supporter l'effort de la vapeur, on conçoit aisément que, cédant à la pression intérieure qu'elle éprouve, la chaudière se déchire dans une de ses parties, et donne tout d'un coup issue à la vapeur : de là une première cause d'explosions. Aussi l'ordonnance royale qui régit la construction et l'installation des machines à vapeur fixe-t-elle avec soin l'épaisseur à donner au métal d'une chaudière, selon les pressions qu'elle doit subir. Cependant l'explosion n'est presque jamais due à un défaut de résistance du métal. Dans le plus grand nombre des cas, elle provient de ce que quelques parties de la chaudière, accidentellement portées à une température excessive, se sont trouvées tout d'un coup en contact avec l'eau. Si, par exemple, le niveau intérieur de l'eau vient, par un défaut de surveillance, à baisser dans le générateur, de telle sorte que l'eau n'occupe que la moitié ou le tiers de la hauteur qu'elle doit y occuper, ces portions du métal, lé-

chées par la flamme du foyer, peuvent s'échauffer au point de rougir, et si, par un accident quelconque, une certaine quantité d'eau vient alors à être projetée contre ces parois rougies, l'explosion de la chaudière est inévitable. Elle est inévitable pour deux motifs. Le premier tient à la formation subite d'une masse considérable de vapeur qui prend naissance par suite du contact de l'eau avec la partie surchauffée du métal; cette masse de vapeur qui se forme brusquement, par la pression considérable qu'elle provoque tout d'un coup, produit sur la chaudière l'effet d'un violent coup de marteau et détermine sa rupture. En second lieu, le refroidissement presque instantané qu'éprouve le métal rougi amène, dans sa constitution physique, une modification moléculaire qui le rend beaucoup plus fragile et facilite sa déchirure.

L'explosion d'une machine à vapeur donne lieu à des phénomènes mécaniques extraordinaires, dont la puissance serait difficile à expliquer si l'on ne considérait que la seule action de la vapeur qui se trouve dans la chaudière au moment de sa rupture : des murs renversés, des poutres énormes projetées à des distances considérables, la dévastation des usines, et toutes les scènes de destruction et de mort qui accompagnent ce terrible phénomène ne pourraient être déterminées par la seule expansion de la vapeur contenue dans la chaudière. Ce qui ajoute à cette première cause une source plus puissante et plus réelle de dangers, c'est la vaporisation subite de la majeure partie du liquide qui existe dans la chaudière au moment de l'explosion. Cette eau, chauffée à un degré bien supérieur à celui de l'ébullition, se trouvant tout d'un coup en contact avec l'atmosphère, se vaporise en grande partie d'une manière instantanée, et la quantité énorme de vapeur qui se trouve ainsi brusquement engendrée peut donner naissance à ces effets désastreux que l'on n'observait que trop souvent aux premiers temps de l'emploi des machines à vapeur.

Les appareils de sûreté qui servent à prévenir ces effrayants phénomènes sont de deux sortes. Les premiers sont destinés à se mettre à l'abri des pressions trop considérables que la vapeur pourrait acquérir : la *soupape de sûreté*, les *plaques fusibles*, le *manomètre*, remplissent ce premier objet. Les seconds sont destinés à régulariser l'alimentation de la chaudière, de telle sorte que l'eau se trouve toujours maintenue dans son intérieur à un niveau convenable.

La *soupape de sûreté* que Papin imagina en 1688, pour son digesteur, et que Désaguliers appliqua en 1717 à la machine de Savery, d'après la proposition de Papin, est un appareil admirable pour la simplicité et l'efficacité de son action. Il a pour but de prévenir l'explosion de la chaudière en offrant une issue à la vapeur dès que la pression s'y élève au delà des limites auxquelles le métal pourrait résister.

Le principe sur lequel repose le rôle préservateur de cet instrument est des plus simples. La vapeur contenue dans une chaudière exerce une pression égale sur tous les points de ses parois. Si donc on pratique sur un point quelconque de sa surface une ouverture circulaire, et qu'on ferme exactement cet orifice avec une plaque métallique mobile, cette plaque pourra être repoussée de bas en haut par l'action de la vapeur intérieure. Or, si l'on place sur cette plaque mobile un poids exactement équivalent à la pression que la chaudière éprouve lorsque la vapeur se trouve portée au degré de tension qu'elle ne doit jamais dépasser, cette plaque sera soulevée dès que la vapeur aura atteint ce degré de pression. Comme les poids employés pour comprimer la plaque seraient trop lourds ou d'un ajustement difficile, au lieu de les déposer simplement sur l'ouverture, on préfère agir sur la plaque par l'intermédiaire d'un levier du genre des romaines, qui permet, à l'aide d'un poids médiocre, de contre-balancer les plus fortes pressions.

La soupape de sûreté est représentée dans la figure 25.

A est la soupape qui ferme un tuyau vertical communiquant avec la chaudière, et qui par conséquent ferme la chaudière elle-même. Elle est maintenue au moyen d'un levier BC,

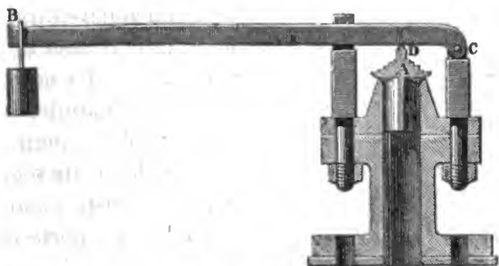


Fig. 25.

qui repose sur elle au point D, et qui est mobile autour du point fixe C. Un poids est suspendu à l'extrémité B de ce levier ; ce poids a été calculé de manière à exercer sur la soupape une pression égale à celle qu'elle éprouverait de la part de la vapeur lorsque sa force élastique serait arrivée au terme qu'elle ne doit jamais dépasser. Si la pression de la vapeur atteint accidentellement jusqu'à ce degré, elle soulève la soupape ; dès lors, une partie de la vapeur s'échappe dans l'air, et la pression intérieure se trouve ramenée, dans l'intérieur de la chaudière, à ses limites normales ; cette limite une fois atteinte, la soupape se referme et prévient ainsi une émission de vapeur devenue inutile.


Fig. 26.

La figure 26 montre la soupape de sûreté seule, c'est-à-dire débarrassée du levier de pression qui pèse sur elle pour la maintenir en place sur l'orifice de la chaudière. On voit qu'elle se compose de trois ailettes saillantes supportées par un chapiteau, lequel produit l'occlusion de la chaudière.

Les dimensions de la soupape de sûreté sont fixées avec beaucoup de soin par le règlement d'administration de 1843,

qui exige que chaque chaudière à vapeur soit munie de deux appareils de ce genre, dont un doit se trouver constamment sous une clef et hors de la disposition du mécanicien (1).

La soupape à plaque mobile serait un appareil irréprochable par la commodité, la simplicité, la certitude de son action, si les ouvriers chargés de la conduite des machines ne pouvaient, avec une facilité désespérante, annuler ses avantages. On comprend, en effet, qu'il suffit d'augmenter le poids qui ferme la soupape pour empêcher cette soupape de s'ouvrir sous la pression calculée par le constructeur. Si, au poids de 10 kilogrammes, par exemple, que porte le levier, on ajoute un poids de 1 ou 2 kilogrammes, la vapeur ne pourra soulever la plaque mobile que lorsqu'elle aura gagné en puissance dans une proportion correspondante. C'est ce que ne font que trop souvent les ouvriers chargés de diriger les machines. Tout le monde a vu, sur un bateau à vapeur, le mécanicien, quand il veut obtenir une plus grande vitesse, attacher à l'extrémité du levier un marteau, un morceau de fer ou un poids ; lorsque deux bateaux en concurrence se rencontrent faisant la même route sur une de nos rivières, c'est ainsi que débutent les mécaniciens en entamant la lutte. Pour mettre la soupape de sûreté à l'abri de la main des ouvriers, les règlements exigent que l'une des deux soupapes dont la chaudière est munie soit placée dans une boîte fermant à clef ; mais cette utile prescription n'est pas toujours suivie.

Outre la soupape de Papin, les chaudières à vapeur sont quelquefois munies d'un appareil de sûreté fondé sur un principe tout différent : c'est la *plaque* ou *rondelle fusible*. La plaque fusible est un petit disque de métal qui bouche

(1) Aucune chaudière ne peut être employée avant d'avoir été essayée à froid, au moyen d'une presse hydraulique, sous une pression triple de celle qu'elle doit supporter. Cet essai est vérifié par les soins de l'ingénieur du département.

hermétiquement un trou pratiqué sur un point quelconque de la chaudière ; ce disque est composé d'un alliage d'étain, de bismuth et de plomb, dans des proportions telles qu'il puisse entrer en fusion dès qu'il se trouve soumis à un degré de température supérieur à celui que présente la vapeur quand elle a atteint la pression extrême que la chaudière peut supporter.

Le principe sur lequel repose l'emploi des rondelles fusibles est important à connaître. La pression qu'exerce la vapeur d'eau dépend de sa température, et les pressions qui correspondent aux différentes températures de la vapeur ont été déterminées expérimentalement de la manière la plus précise. D'après les tables de la force élastique de la vapeur d'eau dressées par les soins de l'Académie des sciences de Paris, on sait qu'à la température de 100 degrés, la force élastique de la vapeur équivaut au poids d'une atmosphère ; qu'une température de 112 degrés correspond à une force élastique d'une atmosphère et demie, une température de 122 degrés à deux atmosphères, une température de 145 degrés à quatre atmosphères, etc. D'après cela, la connaissance de la température de la vapeur contenue dans une chaudière doit suffire pour indiquer la force élastique dont jouit cette vapeur, ces deux termes étant liés entre eux d'une manière invariable. Si donc on prépare, par le mélange de certains métaux, un alliage tel qu'il entre en fusion à la température que la vapeur ne doit jamais dépasser, et que l'on ferme, avec une plaque formée de cet alliage, un orifice pratiqué sur la chaudière, dès que la vapeur aura dépassé la pression normale assignée par le constructeur, la température de cette vapeur s'étant accrue d'une manière correspondante, déterminera la fusion de l'alliage : la chaudière se trouvera ainsi ouverte et offrira à la vapeur une libre issue.

Fondées sur des faits physiques d'une exactitude rigoureuse, les rondelles fusibles semblent offrir un moyen cer-

tain de prévenir l'explosion des chaudières. L'expérience a prouvé cependant qu'elles atteignent rarement le but proposé, et qu'elles présentent dans leur emploi de très-grands inconvénients. Comme l'alliage, avant de fondre et de couler, commence par se ramollir, il offre, à cette limite de température qui avoisine son point de fusion, une résistance beaucoup moindre à l'effort de la vapeur, et il arrive souvent, par suite de ce fait, que la rondelle cède à la pression de la vapeur, lorsque celle-ci est encore bien loin des limites assignées. On a obvié en partie à cet'inconvénient en serrant la rondelle fusible entre deux toiles métalliques à mailles étroites qui la maintiennent de manière à prévenir ses boursouflures. Mais un autre inconvénient plus difficile à éviter, c'est que la rondelle fusible, quoique placée à la partie supérieure de la chaudière, finit par s'encroûter des dépôts qui proviennent de l'évaporation de l'eau : ces dépôts s'attachent à sa surface, et la recouvrent d'une enveloppe terreuse qui retarde la transmission de la chaleur et l'empêche d'entrer en fusion au degré calculé.

Les rondelles fusibles présentent un autre inconvénient qui est de beaucoup le plus grave. Lorsque, la vapeur ayant dépassé dans la chaudière ses limites normales, la plaque métallique est entrée en fusion, toute la vapeur qui se trouvait contenue dans la chaudière s'échappe aussitôt dans l'air. L'explosion est ainsi prévenue, mais la marche de la machine est du même coup arrêtée, puisque la chaudière est ouverte et cesse d'envoyer sa vapeur dans le cylindre. Il faut, de toute nécessité, remplacer la plaque fusible, remplir de nouveau la chaudière d'eau et la chauffer. Dans bien des cas, ce n'est pas sans de graves inconvénients que l'action de la machine peut être ainsi suspendue. Dans un bateau à vapeur, près des côtes et au moment d'entrer dans le port, l'absence subite du moteur constituerait un danger très-sérieux. Là est le vice capital et tout à fait irrémédiable

des appareils de sûreté composés de métaux fusibles. La soupape de Papin est exempte de cet inconvénient, car, dès qu'elle a donné issue à la vapeur dont l'excès de force élastique menaçait de compromettre l'appareil, elle retombe, ferme de nouveau la chaudière, et la vapeur, ainsi ramenée à la tension convenable, poursuit l'effet de son action motrice.

En raison de ces divers inconvénients, les plaques fusibles sont aujourd'hui abandonnées. En France, les règlements d'administration exigeaient autrefois l'adjonction à toutes les chaudières à vapeur de deux plaques fusibles de dimensions inégales ; depuis quelques années cette prescription a été levée.

Nous pouvons cependant signaler une excellente application des plaques fusibles pour empêcher les coups de feu en cas de manque d'eau dans les chaudières. On place dans un orifice pratiqué au fond de la chaudière, au-dessus du foyer, un bouchon de plomb ou d'alliage fusible. Si, par un accident quelconque, ou par la négligence du mécanicien, la chaudière est à sec, le bouchon entre en fusion ; alors le peu d'eau qui reste au fond de la chaudière tombe dans le foyer et éteint le feu.

Manomètre. — Le moyen certain de prévenir les dangers résultant de l'augmentation accidentelle de la pression de la vapeur, c'est de pouvoir s'assurer à tout moment de l'état exact de la tension que possède la vapeur. L'appareil, destiné à donner à chaque instant au mécanicien l'indication et la mesure de la pression qui s'exerce à l'intérieur de la chaudière, porte le nom de *manomètre*.

Le manomètre employé dans la plupart des machines à vapeur consiste simplement en un long tube de verre ouvert par ses deux bouts, plongeant dans un réservoir de mercure, qui communique lui-même avec la vapeur contenue dans la chaudière. Lorsque la pression intérieure ne dépasse pas



Fig. 27.

une atmosphère, le mercure s'élève à la même hauteur dans le réservoir et dans le tube. Si elle est de deux atmosphères, le mercure s'élève à $0^m,76$ de hauteur, d'après les principes connus sur la mesure de la pesanteur de l'air ; si la pression est de trois atmosphères, il s'élève à deux fois $0^m,76$ de hauteur, c'est-à-dire à $1^m,52$, etc.

Employé sans autre artifice, ce manomètre, dont les indications sont d'ailleurs parfaitement rigoureuses, aurait un inconvénient pratique : l'excessive longueur que devrait présenter le tube pour indiquer des pressions de cinq ou six atmosphères, porterait l'extrémité de la colonne de mercure à une hauteur telle que le mécanicien ne pourrait la voir commodément. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on donne au manomètre à air libre une disposition particulière. Elle consiste à placer à la surface du mercure un petit flotteur suspendu à un fil passant sur une poulie et équilibré par un contre-poids. Ce contre-poids se meut en sens contraire du mouvement du mercure; il se trouve ainsi placé à une hauteur convenable pour que le mécanicien puisse aisément l'apercevoir. Une échelle graduée, disposée le long du tube, exprime les variations de la pression intérieure de la vapeur en atmosphères et en fractions de cet élément. La figure 27 montre cette disposition, qui se comprend à la seule inspection.

Le mercure du manomètre est exposé à être perdu ou sali ; en outre, cet instrument devient d'une longueur excessive quand la pression est considérable, ce qui le rend quelquefois impossible à placer. Un manomètre métallique, découvert par M. Bourdon, et récompensé par une grande mé-

daille à l'Exposition universelle de Londres, en 1851, remplace aujourd'hui avec avantage le manomètre à mercure.

Le *manomètre à spirale métallique de Bourdon* est fondé sur ce fait que l'expérience a établi, savoir, que quand on met en communication avec la vapeur remplissant une chaudière une spirale de cuivre mince, creuse et à section ellipsoïdale, la vapeur, en agissant à l'intérieur de ce conduit métallique, tend, par son effort, à redresser ce conduit d'une quantité sensiblement proportionnelle à la pression. D'après cela, si l'on adapte une aiguille à l'extrémité libre de cette spirale, cette aiguille indiquera sur un cadran les degrés d'allongement du métal correspondant à cette pression.

La figure 28 représente le manomètre de Bourdon. Quand la vapeur de la chaudière pénètre dans l'intérieur de la spirale creuse B, la pression qu'elle exerce contre ses parois gonfle ce tuyau creux en diminuant l'aplatissement de sa section transversale; ce léger gonflement entraîne un changement dans la courbure du tuyau, qui se redresse de plus en plus et d'une quantité sensiblement proportionnelle à la pression. Par suite de ce redressement, l'extrémité C de la spirale se déplace, et, par l'intermédiaire de la tige CD, fait mouvoir l'aiguille DEF, qui parcourt le cadran, dont la graduation a été faite de manière à représenter la pression en atmosphères et en fractions d'atmosphère.



Fig. 28.

Comme par son expansion prolongée dans un milieu

chaud, le métal du tuyau courbe peut subir des modifications moléculaires capables de fausser ses indications, il est important de s'assurer de temps en temps du bon état et de l'exacte sensibilité de cet appareil indicateur.

Tels sont les moyens de sûreté employés pour prévenir les accidents qui pourraient résulter de l'accroissement accidentel de la pression de la vapeur. Examinons maintenant les appareils mis aujourd'hui en usage pour prévenir les dangers qui résulteraient d'une interruption dans l'alimentation de la chaudière. Ces appareils sont les *indicateurs du niveau de l'eau* et les *flotteurs.*

Le plus simple et le plus utile des *indicateurs du niveau de l'eau* est un tube de verre vertical nommé *tube-jauge,* qui communique avec l'intérieur de la chaudière, et qui se trouve fixé contre ses parois à l'aide de deux tubulures de cuivre. L'eau s'élève dans l'intérieur de ce tube transparent à la même hauteur que celle qu'elle occupe dans la chaudière. Le mécanicien a, de cette manière, constamment sous les yeux la hauteur que le liquide occupe dans le générateur.

Cependant, comme il est de la dernière importance que le chauffeur connaisse à chaque instant la quantité d'eau qui existe dans la chaudière, on ne se contente pas de ce premier moyen, et l'on met à sa disposition d'autres appareils destinés à lui fournir la même indication. A cet effet, deux robinets, nommés *robinets-jauge,* sont adaptés à la chaudière en des points peu éloignés de la position que doit avoir constamment le niveau de l'eau ; ils sont situés, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de ce niveau, de telle sorte qu'en ouvrant successivement ces deux robinets, le chauffeur doit voir couler de l'eau par le robinet inférieur et de la vapeur s'échapper par l'autre. Comme nous l'avons fait remarquer dans un autre chapitre, ce moyen était déjà en usage au

milieu du dix-huitième siècle, dans les machines de Newcomen.

Le *flotteur*, dont l'emploi est obligatoire pour les chaudières à vapeur, est aussi d'une invention ancienne. Il se compose d'un corps quelconque équilibré de manière à surnager l'eau, et qui, placé à la surface de l'eau, s'élève ou s'abaisse avec elle. Le mouvement de ce flotteur est rendu sensible au dehors par une tige métallique déliée qui le surmonte verticalement, et qui traverse à frottement la paroi supérieure de la chaudière. L'extrémité de cette tige se meut sur une échelle graduée, et permet à l'ouvrier de suivre à chaque instant le mouvement de l'eau dans l'intérieur de la chaudière. Cet appareil est représenté sur la figure 24 (page 217) par la lettre C.

L'Exposition universelle de 1855 a fait connaître un perfectionnement ingénieux de ces flotteurs : un aimant, fixé à l'extérieur de la chaudière sur une tige plongeant dans l'intérieur de cette chaudière et à travers ses parois, attire, selon les mouvements d'élévation ou d'abaissement de l'eau, une lame de fer qui sert de flotteur; une échelle placée sur le trajet de ce corps mobile fait connaître la hauteur que l'eau occupe à l'intérieur du générateur.

Les moyens précédents ne peuvent servir à prévenir l'abaissement du niveau de l'eau dans le générateur que tout autant que l'ouvrier y porte attention; ils deviennent nécessairement inefficaces par suite de sa distraction ou de sa négligence. Aussi les chaudières sont-elles toujours munies d'un appareil nommé *flotteur d'alarme*, qui a pour but de réveiller l'attention du mécanicien distrait. Cet ingénieux appareil est représenté dans la figure 29.

Un flotteur A se trouve fixé à l'extrémité d'un levier ABC, qui est muni, à son autre extrémité, d'un contre-poids C. Lorsque le niveau de l'eau se maintient dans la chaudière à une hauteur convenable, ce flotteur tient la petite pièce

conique *a* pressée contre l'orifice du tube vertical *b*, et ferme ainsi, en ce point, le générateur. Mais si, par suite d'un défaut d'alimentation de la chaudière, l'eau vient à

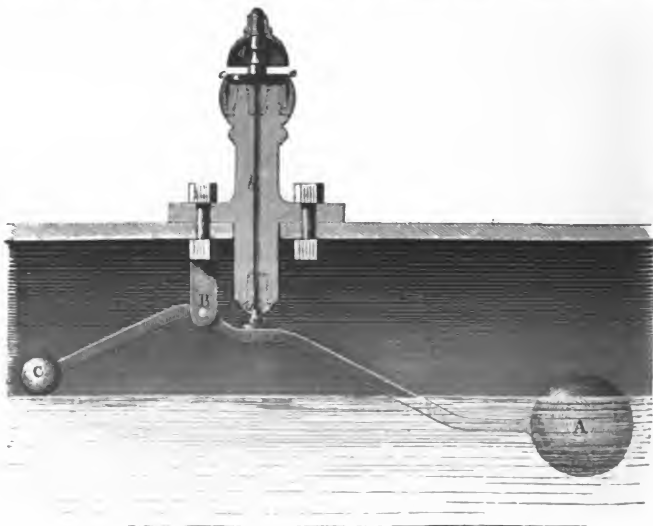


Fig. 29.

baisser, le flotteur la suit dans son mouvement, et l'orifice *a* se trouve ainsi débouché; la vapeur s'échappe donc aussitôt par l'issue que lui présente le tuyau *ab*. Ce jet de vapeur s'élance par l'ouverture annulaire *cc*, et rencontrant le timbre métallique *d* par son contour aigu, il le met aussitôt en vibration et fait entendre un coup de sifflet qui trahit le défaut de surveillance du chauffeur.

Ces précautions si multipliées pour entretenir d'une manière régulière et constante l'alimentation du générateur peuvent paraître superflues, quand on se souvient que cette alimentation se fait d'une manière continue, au moyen d'une pompe mise en mouvement par la machine elle-même, et

dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'elle refoule dans la chaudière une quantité d'eau à peu près correspondante à celle que l'évaporation fait disparaître. Mais le jeu de cette pompe peut être sujet à quelque dérangement, et c'est afin que l'ouvrier puisse reconnaître si elle fonctionne avec la régularité nécessaire, que l'on met à sa disposition les divers moyens qui viennent d'être énumérés pour apprécier la hauteur du niveau de l'eau. Quand le mécanicien s'aperçoit que le générateur renferme une trop grande quantité d'eau, il arrête le jeu de la pompe alimentaire, soit en décrochant la tige qui la rattache au balancier, soit en fermant un robinet adapté au tuyau d'aspiration; il rétablit le jeu de cette pompe dès que le niveau de l'eau commence à s'abaisser au-dessous de la ligne normale tracée à l'extérieur.

Nous dirons, pour terminer cette description générale de la machine à vapeur, qu'on a l'habitude d'évaluer en nombre de chevaux la puissance de ces machines. Ce moyen de mesure a été employé pour la première fois par Thomas Savery. On a beaucoup varié sur la valeur de cette unité dynamométrique. Voici quelle est aujourd'hui, en France, sa signification précise. On dit qu'une machine à vapeur est de la force d'un cheval, lorsqu'elle est capable d'*élever un poids de* 75 *kilogrammes à* 1 *mètre de hauteur dans une seconde de temps*. Une machine à vapeur de dix chevaux, par exemple, est donc celle qui, dans une seconde, peut élever 750 kilogrammes à 1 mètre de hauteur, ou 75 kilogrammes à 10 mètres de hauteur. Il faut remarquer cependant que cette quantité de travail est bien supérieure à celle que peut produire un cheval; aussi ce mode d'évaluation est-il plutôt une convention qu'une comparaison fondée sur une appréciation exacte des forces naturelles.

Voici l'étymologie, ou, si l'on veut, l'origine de cette dé-

nomination bizarre de *cheval-vapeur*, employée pour représenter l'unité dynamométrique des machines à vapeur. Une anecdote rapportée par M. Tom Richard, dans son *Aide-mémoire des ingénieurs*, l'explique comme il suit :

« Ce fut, dit M. Tom Richard, dans la brasserie de Whitbread, à Londres, que Watt fit la première application de sa machine à vapeur. Cette machine devait remplacer un manége destiné à monter de l'eau, et le brasseur voulant obtenir de la vapeur le même effet que de ses chevaux, proposa à Watt de faire travailler un cheval pendant une journée de huit heures, et de baser le travail du *cheval-vapeur* sur le produit du poids de l'eau qui aurait été élevé à la fin de la journée par la différence du niveau des réservoirs inférieur et supérieur. Watt accepta le marché. Le brasseur prit alors son meilleur cheval (et les chevaux de brasseur, à Londres, sont des animaux d'une force prodigieuse), et le fit travailler huit heures, n'épargnant pas les coups de fouet, et s'embarrassant peu que son cheval pût soutenir plusieurs jours de suite un tel travail. Le produit mesuré se trouva être de 2,420,000 kilogrammes élevés à 1 mètre en huit heures, soit 73 kil. 6 élevés à 1 mètre par seconde. »

Ce travail se rapproche de celui du cheval-vapeur adopté en France, mais il est de beaucoup supérieur à celui qu'on obtiendrait d'une manière suivie d'un cheval ordinaire. En effet, des expériences authentiques, faites aux mines d'Anzin sur le travail de 250 chevaux employés pendant un an à faire mouvoir une machine très-simple, ont donné pour le travail effectif d'un cheval ordinaire pendant huit heures, ou sa journée entière, 800,000 kilogrammes élevés à 1 mètre, soit 27^{kil},77 élevés à 1 mètre par seconde.

D'après ce résultat, un cheval-vapeur serait l'équivalent du travail de plus de trois chevaux pour le même temps. Afin d'éviter toute confusion, il est bon, d'après cela, d'employer toujours le terme de *cheval-vapeur* pour désigner l'unité dynamométrique des machines à vapeur.

LES BATEAUX A VAPEUR

CHAPITRE PREMIER

Premiers essais de navigation par la vapeur exécutés en France par le marquis de Jouffroy. — Tentatives antérieures. — Papin. — Savery. — J. Dickens. — Bernouilli. — Le chanoine Gauthier de Nancy. — Expériences sur le Doubs avec l'appareil palmipède. — Les bateaux à roues. — Ancienneté des roues appliquées à la navigation. — Leur emploi proposé au dix-huitième siècle. — Expériences faites à Lyon avec le bateau à roues du marquis de Jouffroy.

Vers la fin de l'année 1775, un jeune gentilhomme de la Franche-Comté, le marquis Claude Jouffroy d'Abbans, vint pour la première fois à Paris. Il arrivait de Provence, où l'avait exilé pendant deux ans une lettre de cachet sollicitée par sa famille à la suite d'une affaire d'honneur qu'il avait eue avec le colonel de son régiment. Le jeune officier avait consacré les loisirs de son exil à réunir les matériaux d'un ouvrage sur les galères à rames. Depuis que l'Académie des sciences avait mis au concours, en 1753, la question des *moyens de suppléer à l'action du vent*, et couronné le mémoire présenté sur ce sujet par Daniel Bernouilli, on s'occupait en France, avec beaucoup d'ardeur, des perfectionnements à introduire dans les procédés de navigation anciennement en usage. M. de Jouffroy avait abordé le genre de recherches qui avait alors le privilége de fixer l'attention des savants. Pendant le cours de ses études, il fut frappé de cette idée, que la machine à vapeur pourrait s'ap-

pliquer avec avantage à la propulsion des navires. Cette pensée n'avait rien d'ailleurs que de fort simple, elle s'était déjà présentée à l'esprit de la plupart des mécaniciens de cette époque. La machine de Watt, alors consacrée, en Angleterre, à l'épuisement de l'eau dans les mines, constituait un moteur d'une puissance extraordinaire, et tout le monde comprenait que ce nouvel agent était de nature à recevoir bientôt un grand nombre d'applications nouvelles. En étudiant avec attention les divers éléments théoriques et pratiques relatifs à la marche des vaisseaux, le marquis de Jouffroy n'avait pas tardé à se convaincre que l'application de la vapeur à la navigation était loin d'offrir des obstacles insurmontables. Mais l'élément essentiel manquait à ses calculs, car la machine à vapeur était encore fort peu connue parmi nous. Uniquement employée en Angleterre dans les mines de houille, surveillée d'ailleurs avec un soin jaloux chez cette nation, qui désirait jouir exclusivement de ses avantages, la merveilleuse machine n'avait pas encore passé le détroit.

Précisément à l'époque où le marquis de Jouffroy, revenant de son exil, entrait dans la capitale, impatient de recueillir sur la machine à vapeur les renseignements qui lui manquaient, les frères Perrier s'occupaient d'établir la pompe à feu de Chaillot, qui consistait, comme on l'a vu dans l'histoire de la machine à vapeur, en une machine de Watt à simple effet. La pompe à feu des frères Perrier était alors, pour les Parisiens, le sujet d'une vive et juste curiosité; la foule ne se lassait pas d'aller contempler son jeu si admirable et si simple. A peine débarqué, le marquis de Jouffroy, sans donner un regard aux merveilles de la capitale qu'il voyait pour la première fois, courait à Chaillot pour se mêler à la foule des visiteurs, et tandis que le mécanisme de l'appareil n'était pour le reste des assistants que l'objet d'une curiosité stérile, il devenait pour lui le texte des plus

fructueuses études. Il ne tarda pas à obtenir des frères Perrier la faveur d'une entrée particulière, et put observer tout à loisir les détails de la machine et le jeu de ses divers organes. L'examen approfondi auquel il se livra ainsi lui montra toute la certitude de ses vues, et dès lors la possibilité de réaliser le projet qu'il avait conçu éclata avec évidence dans son esprit et l'occupa tout entier.

Quelques détails rapides vont faire comprendre comment la machine installée à Chaillot, ou la machine de Watt à simple effet, pouvait, dans une certaine mesure, donner les moyens de créer la navigation par la vapeur, et de triompher des obstacles qui, jusqu'à ce moment, avaient arrêté les mécaniciens dans l'exécution de cette grande entreprise.

L'idée d'appliquer la vapeur à la navigation s'était présentée à l'esprit de la plupart des mécaniciens qui avaient été témoins de ses effets (1). Lorsque Papin proposa sa machine atmosphérique, il insista particulièrement sur l'appli-

(1) Nous considérons comme tout à fait dépourvu d'authenticité, et par conséquent comme inutile à rapporter, un document publié en 1826 en Espagne, et d'après lequel un certain Blasco de Garay aurait expérimenté en 1543, devant l'empereur Charles-Quint, une machine propre à l'impulsion des navires, et où l'on remarquait « une chaudière d'eau « bouillante ». L'état des sciences au seizième siècle ne nous permet pas de croire qu'une machine à vapeur, quelle qu'elle fût, eût pu être exécutée à cette époque. Si une telle machine eût apparu à la cour de Charles-Quint, comment serait-elle tombée ensuite dans un complet oubli? « Une chaudière d'eau bouillante » ne suffit pas à constituer une machine à vapeur, et s'il entrait dans le système mécanique dont il s'agit un pareil élément, rien n'autorise à conclure que cette chaudière fût destinée à fournir de la vapeur fonctionnant comme agent mécanique. Le texte du document espagnol est muet sur ce point, car tout se réduit à la mention de l'existence de ce chaudron d'eau bouillante. Ajoutons que si un essai d'application de la vapeur fut tenté à cette époque, il est certain qu'il resta sans influence, sans utilité, puisque le secret de la puissance de cette machine ne fut point révélé par l'auteur. Par ces considérations, le nom de Blasco de Garay ne nous paraît point devoir figurer sérieusement dans l'histoire de la navigation par la vapeur.

cation que l'on pourrait en faire à la propulsion des bateaux. On a vu, par la lecture de son Mémoire de 1690, que l'illustre physicien y parle surtout des avantages que l'on pourrait retirer de son appareil pour « naviguer contre le vent, » et qu'il propose un mécanisme ingénieux destiné à transmettre la puissance motrice à deux roues placées sur les côtés du bâtiment. Ajoutons qu'en 1767, lorsqu'il eut construit le modèle de sa seconde machine à vapeur, Papin se hâta de l'appliquer, comme agent de propulsion, à un petit bateau muni de roues; on connaît par l'histoire de sa vie quel concours de circonstances l'empêcha de réussir dans cette tentative admirable.

Dès qu'il vit sa machine à vapeur fonctionner avec succès pour l'épuisement de l'eau dans les mines et pour l'élévation et la distribution des eaux dans les villes, Savery annonça son intention de l'appliquer à la navigation. Mais la machine de Savery n'aurait pu, par aucune combinaison mécanique, s'approprier à un tel usage, et l'inventeur ne poussa pas plus loin ce projet.

En 1724, un autre mécanicien anglais, J. Dickens, obtint un brevet pour appliquer une machine à vapeur inventée par un certain Floats à l'élévation des eaux et à la propulsion des navires ; mais ce projet ne reçut non plus aucune exécution (1).

La machine à vapeur de Newcomen et Cawley commençait à peine à se répandre dans les comtés houillers de l'Angleterre, qu'un mécanicien de ce pays, nommé Jonathan Hulls, proposait de s'en servir pour remorquer les navires à l'entrée ou à la sortie des ports. En disposant une manivelle à l'extrémité du balancier de la machine de Newcomen, il transformait le mouvement de va-et-vient du piston en un mouvement de rotation qui se transmettait à la roue

(1) *A sketch of the origin and progress of steam navigation*, by Wood Croft, page 10.

à palettes d'un bateau remorqueur (1). Jonathan Hulls obtint un brevet pour cette application de la machine de Newcomen, mais l'amirauté anglaise repoussa son projet. En cela, l'amirauté faisait justice d'un plan inexécutable et sans valeur. Si l'on s'en rapporte aux dessins qui nous restent, le bateau de Jonathan Hulls était de la disposition la plus grossière ; il ne portait qu'une seule roue qui, fixée à l'arrière, était mise en mouvement par une machine de Newcomen à l'aide de cordes et de poulies ; il ne présentait ni mâts ni voiles, et l'on ne voyait sur le pont que le long tuyau de tôle servant de cheminée à sa chaudière. Ce n'était donc qu'un simple remorqueur dans lequel la machine à vapeur représentait la force motrice agissant sur le câble pour faire avancer l'embarcation. Mais la machine de Newcomen ne pouvait produire commodément un mouvement de rotation, et l'irrégularité de son action mécanique, autant que la quantité considérable de charbon qu'il aurait fallu prendre à bord du remorqueur pour alimenter la chaudière, rendait impraticable le projet de Jonathan Hulls, qui ne tarda pas à tomber dans l'oubli.

En 1753, l'Académie des sciences de Paris ayant mis au concours la question : *Des moyens de suppléer à l'action des vents pour la marche des vaisseaux*, reçut, avec le Mémoire de Bernouilli, qui obtint le prix proposé, quelques autres Mémoires de divers physiciens, parmi lesquels figuraient Euler, Mathon de Lacour et l'abbé Gauthier, chanoine régulier de Nancy. Bernouilli, passant en revue les forces mécaniques connues et employées à cette époque, rejeta la vapeur pour cette application. Il prouva que la force de la poudre à canon

(1) La description de l'appareil de Jonathan Hulls se trouve dans un ouvrage devenu fort rare en Angleterre, intitulé : *Description, avec planches, d'une nouvelle machine servant à faire sortir les bateaux ou navires des ports et rivières, ou à les y faire entrer contre vent et marée comme en temps calme*, par Jonathan Hulls, Londres, 1737.

et celle de l'eau bouillante, au moins avec la machine à vapeur telle qu'elle existait alors, ne pouvaient l'emporter en rien sur les effets des rames mues par la main de l'homme. Il montra, par le calcul, qu'une machine à vapeur, telle que la grande machine de Newcomen, qui servait à Londres à la distribution des eaux et qui était d'une force de vingt à vingt-cinq chevaux, ne pourrait faire parcourir à un vaisseau, quelque moyen que l'on mît en usage pour la transmission de la force, que la faible vitesse de 1m,2 par seconde, ou 4,320 mètres par heure, c'est-à-dire un peu plus de deux nœuds. Sur cette considération, il proposa pour la propulsion des navires un système mécanique nouveau immergé en partie dans l'eau à la manière des rames, mais fonctionnant d'après le principe de l'hélice actuelle, et qui serait mis en action par des hommes ou par toute autre puissance mécanique (1).

Le Mémoire de Bernouilli fut couronné par l'Académie des sciences, et il est hors de doute que ce savant mathématicien avait judicieusement traité la question, en déclarant que la machine de Newcomen, la seule machine à vapeur qui fût alors connue, ne présentait aucune supériorité comme force sur les autres agents moteurs. Cependant nous ne devons pas négliger de dire que l'un des concurrents dans ce tournoi académique s'était nettement prononcé en faveur de la machine à vapeur. L'abbé Gauthier proposa d'assigner à la propulsion des navires la machine de Newcomen, qu'il rendait propre à donner un mouvement de rotation, et qu'il consacrait à faire mouvoir des roues à palettes placées sur les côtés du navire.

Les défauts de la machine de Newcomen, l'énorme quantité de combustible qu'elle nécessitait, et la difficulté extrême

(1) Voyez à ce sujet le très-curieux Mémoire de Bernouilli dans le *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie*, t. VI, p. 94 et suivantes.

de transformer son mouvement intermittent en un mouvement de rotation continu, n'auraient pas permis de mettre en pratique avec succès le projet de l'abbé Gauthier. Cependant le Mémoire dans lequel le chanoine de Nancy expose ses idées contient un tableau très-remarquable des avantages de la vapeur employée à remplacer sur les vaisseaux le travail des hommes. Comme il donne une idée frappante et fidèle de l'état de la science à cette époque, nous croyons être agréable à nos lecteurs en mettant sous leurs yeux la plus grande partie de ce travail, qui parut en 1754, dans les *Mémoires de la Société royale des sciences et lettres de Nancy*.

L'auteur commence par établir par des résultats authentiques le peu de vitesse des vaisseaux mus par la main des rameurs, c'est-à-dire des *galères* (1). Chacun sait qu'à cette époque les hommes condamnés par la justice étaient affectés à ce travail; d'où le nom de *galériens*.

« M. de Chazelle, de l'Académie royale des sciences, s'est assuré, dit l'abbé Gauthier, par des expériences répétées avec exactitude, qu'une galère qui a vingt-six rames de chaque côté, et dont la chiourme est de 260 hommes, ne fait que 4,320 toises par heure.

« On voit, par des expériences faites à Marseille le 12 février

(1) Ces *galères* étaient des bâtiments plats, étroits, à bords très-bas, qui allaient à voiles et à rames. Les forçats, enchaînés sur les bancs, étaient condamnés à faire marcher ces navires, quelquefois très-chargés et toujours très-lourds. Le travail des galériens rendait des services réels. Une ordonnance de Charles IX, du mois de novembre 1564, enjoint aux parlements de ne pas prononcer la peine des galères pour un temps moindre de dix ans (voy. Guénois, p. 806) : « parce que trois « années étant nécessaires pour enseigner aux forçats le métier de la « vogue et de la mer, il serait très-fâcheux de les renvoyer chez eux au « moment où ils deviennent utiles à l'État. » Le besoin qu'on avait de rameurs faisait même fléchir les règles de la justice. Colbert écrivit aux parlements, par ordre de Louis XIV, pour leur recommander de condamner aux galères *le plus qu'ils pourraient*, même pour les crimes méritant la peine de mort.

1693, que la vitesse d'une galère à rames perpendiculaires ou tournantes, inventées par M. Duguet, ne l'emporte pas sur celle d'une galère ordinaire.

« Il résulte de ces faits, que la force d'un équipage fort coûteux ne peut faire avancer un grand vaisseau avec beaucoup de vitesse, et qu'il serait à souhaiter qu'on pût recourir en plein calme à un autre principe de mouvement.

« Les rames à feu que je propose procureront plusieurs grands avantages :

« 1° Elles joueront soir et matin, sans employer la force des hommes, au lieu que, de quelque manière qu'on applique des rames, soit celles de MM. de Camus, Martenot Limousin, ou quelque autre espèce, il faudra au moins une chiourme de 400 hommes dont la moitié fera voguer le vaisseau, tandis que l'autre se reposera ; encore ira-t-on lentement. Ajoutez que bien peu d'hommes sont en état de soutenir longtemps un travail continuel, surtout pendant les chaleurs. Dans les voyages de long cours, il arrive fréquemment que l'équipage est attaqué de scorbut ou d'autres maladies. D'ailleurs, il n'y a que des vaisseaux de guerre qui puissent avoir un équipage nombreux. En se servant des rames à feu, on ne sera pas obligé d'avoir tant de rameurs, dont la nourriture et les appointements monteraient fort haut.

« 2° La machine qui fera jouer les rames pourra servir à faire aller les pompes des vaisseaux, à lever l'ancre, etc., et son feu moteur à cuire les aliments, à renouveler l'air.

« 3° On donnera aux vaisseaux une vitesse proportionnelle à la grandeur de la machine qu'on emploiera.

« Après avoir donné une idée générale de mon objet, je passe aux développements qu'il demande. Je passerai ensuite au moyen d'appliquer avantageusement la force des hommes aux rames perpendiculaires.

« Comme le mécanisme et la théorie des machines à feu sont très-bien détaillés dans les ouvrages de MM. Bélidor et Désaguliers, il paraît inutile de les retracer ici. Je propose donc d'établir dans les vaisseaux des machines à feu telles à peu près que celles dont on se sert pour puiser l'eau des mines. Ces machines se procurant d'elles-mêmes tous les mouvements, deux hommes tour à tour suffisent pour les gouverner.

« Deux objections se présentent d'abord : la machine occupera beaucoup de place, et il faudra des provisions de bois ou de charbon de terre pour la faire jouer.

« Je réponds : 1° Que si l'on emploie des hommes pour faire aller des rames, ils occuperont beaucoup plus de place que la machine ; 2° qu'on doit sacrifier de petits avantages à de plus grands; 3° que si l'on veut établir une machine dont la puissance motrice ait autant de force que celle de Frênes, c'est-à-dire 10,828 livres, il ne faudra qu'un emplacement circulaire de 10 à 12 pieds de diamètre sur autant de hauteur, pour contenir l'alambic, son fourneau et la maçonnerie ; le cylindre, n'ayant que 33 pouces de diamètre, y compris son épaisseur, et 9 pieds de hauteur, ne sera pas bien embarrassant.

« A l'égard des provisions de bois ou de charbon de terre, elles occuperont moins de place que celles qui sont nécessaires pour la nourriture d'une chiourme, qui en occuperait beaucoup elle-même. En voici la preuve. La nourriture, tant liquide que solide, qui sera consommée par 500 hommes en un jour, à 5 livres pesant pour chacun, occupe environ 36 pieds cubes, au lieu que la machine établie à Frênes ne consomme au plus, en vingt-quatre heures, que 27 à 28 pieds cubes de charbon de terre. M. Désaguliers, en parlant d'une machine qui élève l'eau à 29 pieds au-dessus d'un puits, dit qu'autant de feu environ qu'on en use dans une cheminée suffit pour mouvoir cette machine et lui faire enlever 15 tonneaux par heure.

« Négligeons les petites différences, et supposons que les aliments pour 500 hommes n'occuperont pas plus de place que le charbon de terre. On aperçoit d'abord une disproportion énorme pendant une navigation un peu longue. Par exemple, qu'un vaisseau fasse un voyage de six mois, et que durant ce temps il manque de vent pendant trente jours ; voilà 500 hommes nourris inutilement pendant cinq mois, et par conséquent 5,400 pieds cubiques remplis en pure perte par les aliments liquides et solides. Il est superflu d'insister davantage sur ce sujet : il est évident que les rames à feu seront beaucoup plus avantageuses que celles des vogueurs.

« On objectera peut-être qu'il est à craindre que cette machine ne mette le feu au vaisseau. On répondra qu'il est facile de prendre des précautions qui éloignent le danger. 1° On peut se passer de maçonnerie et fortifier l'alambic contre la force de la vapeur avec des bandes de fer circulaires croisées par d'autres bandes et liées ensemble ; 2° le fourneau sera en fer, et ses pieds porteront dans un réservoir de même matière, en forme de caisse plate, qu'on remplira d'eau ; 3° on pourra faire passer

aussi dans des tubes pleins d'eau les contre-fiches, fourchettes et autres branches de fer nécessaires pour la solidité de la machine.

« Reste à développer la manière d'appliquer cette machine à feu à des rames perpendiculaires. Le cylindre sera placé dans l'entre-deux des ponts, entre le grand mât et le mât de misaine, et l'alambic à fond de cale, de manière pourtant qu'une partie de l'eau d'injection soit portée dans la mer par un tuyau dont l'issue sera au-dessus de la ligne de flottaison. On n'aura pas besoin d'un réservoir provisionnel pour fournir de l'eau à l'alambic ; on la tirera de la mer à l'aide d'un tuyau garni d'un robinet. Un rameau du même tuyau fournira de l'eau à une bâche, d'où la pompe refoulante la portera dans la cuvette d'injection.

« Comme les jantes cannelées du balancier ont une courbure qui a pour centre le point d'appui, les chaînes auront toujours une direction verticale au même endroit. Pour appliquer le mouvement perpendiculaire de la chaîne qui répond aux pompes aspirantes dans les machines à feu, on pourra se servir d'une roue cannelée de l'épaisseur des jantes du balancier, laquelle sera mobile autour d'un arbre dont les extrémités porteront des rames tournantes. Cette roue sera garnie de cliquets qui permettront de la faire tourner vers l'arrière du vaisseau sans que l'autre tourne, et, quand elle sera mue vers l'avant, elle fera tourner l'arbre dans le même sens. La chaîne deviendra la tangente de cette roue ; elle y sera fixée par une de ses extrémités. Après lui avoir fait faire autour une ou plusieurs révolutions, elle ne pourra s'élever perpendiculairement sans faire tourner la roue, et, par conséquent, l'arbre et les rames d'une manière propre à faire avancer le vaisseau. Lorsque le balancier cessera de faire monter la chaîne, un poids suspendu à une corde mise autour de la roue la fera mouvoir en sens contraire, et la remettra dans son premier état à mesure que descendra la chaîne du balancier.

« La machine à feu donnant 15 impulsions dans une minute, et le jeu du piston dans le cylindre étant de 6 pieds, on voit qu'une puissance motrice de près de 11,000 livres fera avancer le vaisseau avec une vitesse considérable, et qui deviendra d'autant plus grande que la roue à cliquets sera d'un plus petit diamètre, qu'on doit pourtant proportionner à la force de la machine.

« La pratique, dans cette matière, n'est pas bien d'accord avec

la théorie. J'ai reconnu, par d'autres expériences, que la résistance d'un fluide n'est pas tout à fait proportionnelle au quart de la vitesse du mobile ; mais les approximations théoriques rendent assez de services pour ne pas les discréditer. D'ailleurs l'exacte vérité compliquerait beaucoup des calculs qu'on ne saurait trop simplifier.

« Au lieu de la roue à cliquets, on pourrait se servir de la roue à rochets de M. de la Garousse, en mettant à la chaîne un cadre ou étrier courbé qui prendrait les dents de cette roue fixée à l'arbre des rames ; mais on perdrait à la force ; au lieu qu'en la déployant par une tangente à la roue, on la conserve tout entière proportionnellement à la grandeur de son rayon.

« Enfin, on pourra supprimer le balancier et se servir également de la roue à cliquets. La chaîne fixée à cette roue par une de ses extrémités passera sur une grande poulie ou un treuil mobile, posé au-dessus du cylindre et sera attachée au piston par son autre extrémité (1). »

Rien n'est oublié dans ce curieux écrit de ce qui pouvait assurer la réussite de ce projet et confirmer les promesses d'une théorie séduisante. Malheureusement, répétons-le, la machine de Newcomen ne pouvait en aucune manière se prêter à l'application que l'auteur avait en vue. Excellentes en principe, ces vues ne pouvaient donc à cette époque trouver leur réalisation.

Ce sont des idées à peu près semblables que mit en avant un ecclésiastique du canton de Berne, nommé Genevois, dans une brochure qui parut à Londres, en 1760, et qui avait pour titre : *Quelques découvertes pour l'amélioration de la navigation*. Cet opuscule est consacré à développer les applications de ce que l'auteur appelle « le grand principe. » Ce grand principe se réduisait à l'invention des rames articulées ou palmées, système moteur qui a reçu le nom de *système palmipède*. Cet appareil de navigation consiste en

(1) *Mémoires de la Société royale des sciences et belles-lettres de Nancy*, 1755 t. III, p. 250.

une sorte de palme qui, comme le pied des oiseaux aquatiques, s'ouvre en s'appuyant sur l'eau pour imprimer un mouvement de progression en avant, et se referme quand cet effet a été produit. Des ressorts tendaient ces sortes de rames, qui imprimaient une impulsion mécanique quand les ressorts se détendaient par leur élasticité.

Genevois, qui était surtout un homme à projets, proposait toutes sortes d'applications de ce mécanisme ; il voulait construire des chariots munis de voiles et marchant par l'impulsion de ces ressorts palmés quand le vent viendrait à manquer. Pour appliquer le même système à la navigation, il proposait de produire, au moyen de la machine à vapeur de Newcomen, la tension des ressorts qui, en se débandant, devaient faire marcher les roues du navire. Mais son projet favori était de mettre ces ressorts en action par la force expansive de la poudre à canon. Il dit dans sa brochure qu'il a grandement perfectionné l'usage de la poudre à canon comme force motrice, et il rappelle, pour faire juger des progrès qu'il a apportés à l'emploi de ce moyen, qu'avant lui on tirait un bien faible parti de la force de la poudre à canon, puisque, trente ans auparavant, un expérimentateur écossais, dont il cite le nom, avait été obligé de faire détoner trente barils de poudre pour faire avancer un vaisseau de trois lieues. Voilà, certes, un agent mécanique qui avait besoin d'être perfectionné !

Ce qu'il y avait de sérieux dans tout cela, c'était d'appliquer la machine à vapeur de Newcomen à la propulsion des navires au moyen d'un mécanisme nouveau. Mais la machine de Newcomen, par ses imperfections propres, était hors d'état de rendre le moindre service comme agent de propulsion économique et régulier.

Cependant, les défauts de la machine de Newcomen, qui avaient jusque-là rendu impossible son emploi à bord des navires, étaient destinés à bientôt disparaître, et grâce aux

changements qu'allait subir, par le progrès de la science, cette forme primitive de la machine à vapeur, les obstacles qui empêchaient d'approprier les forces de la vapeur aux besoins de la navigation devaient aussitôt disparaître. Lorsque Watt, créant, vers 1770, la machine à simple effet, parvint à ce résultat admirable de diminuer des trois quarts la dépense du combustible, tout en augmentant l'intensité de l'action motrice, l'illustre ingénieur fit avancer d'un pas immense la question de la navigation par la vapeur. En diminuant les dimensions de l'énorme machine de Newcomen, en rendant plus égal, plus régulier et plus doux, le jeu du balancier, il ajoutait autant d'éléments nouveaux à la solution du problème qui commençait alors à occuper un certain nombre de mécaniciens éclairés.

Telles sont les considérations qui durent frapper l'ardent et judicieux esprit du marquis de Jouffroy, lorsqu'il lui fut donné de connaître et d'étudier, dans les ateliers de Chaillot, la machine de Watt, que les frères Perrier avaient importée de Birmingham. Dès ce moment, ne conservant plus de doutes sur la possibilité pratique de la navigation par la vapeur, il ne s'occupe plus que des moyens de mettre ses idées à exécution.

M. de Jouffroy avait eu l'occasion de rencontrer à Paris deux de ses compatriotes, le comte d'Auxiron et le marquis Ducrest, engagés comme lui dans la carrière militaire et dans celle des sciences; cette conformité de situation et de goûts n'avait pas tardé à les rapprocher tous les trois. Le comte d'Auxiron, capitaine dans un régiment d'artillerie, avait fini par abandonner son emploi pour s'adonner tout entier aux études mécaniques, et, selon M. de Montgery, dès l'année 1774, il aurait lancé sur la Seine, en face du Champ de Mars, un petit bateau voguant par la vapeur, essai qui ne réussit point par suite de l'insuffisance de la force motrice

employée (1). Mais le marquis Ducrest était plus particulièrement en mesure de servir les projets du jeune Jouffroy. Colonel en second du régiment d'Auvergne, frère de madame de Genlis, Ducrest était un des hommes les plus répandus dans la société du temps de Louis XVI. Il tenait à tout et s'occupait de tout. Il s'était consacré avec succès à l'étude des sciences exactes, car il a écrit, sur la mécanique appliquée, un ouvrage qui lui ouvrit les portes de l'Académie des sciences ; il était versé dans les questions de politique et de finance ; il a même publié sur ce sujet divers mémoires qui, pour avoir excité la verve satirique de Grimm, n'en ont peut-être pas moins de valeur. M. de Jouffroy ne pouvait rencontrer de protecteur plus utile à ses desseins que cet actif et remuant personnage, dont l'imagination s'allumait au contact de chaque idée nouvelle. Grâce à son zèle et à ses démarches, le projet de navigation par la vapeur du gentilhomme franc-comtois ne tarda pas à être connu de tout ce que Paris renfermait d'hommes distingués dans les sciences, et bientôt une société financière se montra disposée à le mettre en pratique.

Une réunion fut tenue chez le marquis Ducrest, à l'effet de s'entendre sur les moyens d'exécution. Parmi les personnes qui figuraient dans cette petite assemblée, on remarquait Constantin Perrier, le comte d'Auxiron et le maréchal de camp Follenay. On tomba d'accord sur l'idée d'essayer le nouveau mode de navigation ; mais on se divisa lorsqu'il fut question des moyens de le mettre en œuvre. Perrier présenta un projet qui différait de celui de M. de Jouffroy, tant par le mécanisme à adapter au bateau que par la considération des résistances à vaincre et de la force à employer. Il avait calculé ces éléments d'après l'expérience d'un bateau remorqué par des chevaux sur un chemin de halage. M. de Jouffroy

(1) De Montgery, *Annales de l'industrie nationale et étrangère*, t. VIII, p. 97.

prétendait qu'il fallait considérer la résistance comme trois fois plus forte, dès qu'on prenait le point d'appui sur l'eau, au lieu de le prendre sur la terre. La meilleure appréciation était évidemment du côté de M. de Jouffroy, qui se plaçait encore au-dessous de la vérité. Aussi le comte d'Auxiron, plus familiarisé avec cette question par une expérience antérieure, se rallia-t-il à son projet; M. de Follenay suivit cet exemple, mais Ducrest se prononça en faveur des idées de Perrier. Jeune et sans notabilité, M. de Jouffroy dut laisser le champ libre au célèbre mécanicien dont l'expérience et les talents faisaient autorité dans le monde des arts. Le plan de Perrier obtint donc la préférence, et l'on décida que le bateau à construire serait exécuté d'après ses vues. Ce ne fut pas cependant sans une vive opposition de la part des dissidents. Le comte d'Auxiron, qui se mourait sur ces entrefaites, écrivait à M. de Jouffroy, à ses derniers moments : « Courage, mon ami ! vous seul êtes dans le vrai. » Et M. de Follenay, enthousiaste de l'invention, colportait partout une souscription pour réunir les moyens de mettre en pratique le plan du marquis de Jouffroy.

L'exécution du projet de Perrier ne tarda pas à justifier les craintes et les critiques qu'il avait suscitées dès le début. On en fit l'expérience sur la Seine, avec un petit bateau que Perrier avait loué, et une machine de Watt à simple effet, qui n'était d'aucun usage dans ses ateliers. Par suite de ses calculs inexacts sur les résistances à vaincre, Perrier avait été amené à donner au moteur la seule force d'un cheval; le cylindre de sa machine à vapeur n'avait que 21 centimètres de diamètre; il en résulta que le bateau put à peine surmonter l'effort du faible courant de la Seine (1). La compagnie aux frais de laquelle l'expérience s'exécutait abandonna immédiatement l'entreprise.

(1) Ducrest, *Essai sur les machines hydrauliques*, p. 131.

Cependant le marquis de Jouffroy était retourné dans sa province, plein de confiance dans la certitude de ses idées et impatient de mettre à exécution le plan qu'il avait conçu. Il y a dans la Franche-Comté, à cent lieues de Paris, entre Montbelliard et Besançon, une petite ville nommée Baume-les-Dames, assise sur la rive droite du Doubs. C'est là que le hardi inventeur entreprit de réaliser le projet qui venait d'échouer entre les mains du plus riche et du plus habile manufacturier de la capitale. Ce n'était pas une pensée sans courage que de tenter l'exécution d'un projet de ce genre au fond d'une province reculée et dans un lieu dénué de toute espèce de ressources de fabrication. A une époque où l'art de construire les machines à vapeur était encore à naître parmi nous, il était impossible de songer à se procurer, dans la Franche-Comté, un cylindre alésé et fondu ; il n'y avait à Baume-les-Dames qu'un simple chaudronnier : c'est à lui que M. de Jouffroy s'adressa pour construire le cylindre de sa machine. Ce cylindre, ouvrage d'art et de grande patience, était fait de cuivre battu ; il était poli au marteau à l'intérieur, le dehors était soutenu par des bandes de fer reliées par des anneaux de même métal ; il ressemblait à ces canon de bois fortifiés par des cercles métalliques dont on fit usage dans les premiers temps de l'artillerie.

Le bateau qui fut construit sur les bords du Doubs par le marquis de Jouffroy n'avait pas de grandes dimensions; il n'était long que de quarante pieds, sur six de large. Quant à l'appareil moteur destiné à tenir lieu de rames, il ressembait beaucoup à ces rames articulées, à ce système *palmipède* que Genevois avait décrit dans sa brochure publiée à Londres, en 1760, et dont il a été question plus haut. Des deux côtés du bateau, sortaient deux tiges de huit pieds de longueur, portant à leur extrémité une sorte de châssis formé de deux volets mobiles comme nos persiennes et plongeant à dix-huit pouces dans l'eau ; ce châssis décrivait un

arc de trois pieds de corde et de huit pieds de rayon. Une machine de Watt à simple effet, installée au milieu du bateau, mettait en action ces rames articulées. Le mécanisme destiné à leur transmettre le mouvement se composait d'une chaîne de fer attachée au piston et qui s'enroulait sur une poulie pour venir se fixer à la tige du châssis. Lorsque la vapeur introduite dans le cylindre soulevait le piston, un contre-poids placé à l'extrémité du châssis ramenait celui-ci vers l'avant du bateau, et dans ce mouvement les volets se refermaient d'eux-mêmes par suite de la résistance du liquide. La condensation de la vapeur ayant opéré le vide dans l'intérieur du cylindre, la pression atmosphérique entraînait le piston jusqu'au bas de sa course, et, par suite de la traction de la chaîne attachée au piston, la rame se trouvait ramenée avec force contre les flancs du bateau, tandis que les volets mobiles s'ouvraient de manière à offrir toute leur surface à la résistance du fluide.

Il est bon de remarquer ici que le système palmipède adopté par M. de Jouffroy était le seul qui pût permettre d'appliquer avec quelque avantage la machine à simple effet à la propulsion des bateaux, car ce genre de machine ne produit d'effet utile que pendant la chute du piston; aucune action mécanique n'a lieu, comme on le sait, lorsque le piston remonte. Le contre-poids attaché à l'extrémité du châssis plongeant dans l'eau était l'analogue du contre-poids qui, comme on l'a vu (p. 113), se trouve fixé à l'extrémité droite du balancier, pour faire basculer ce balancier. Le procédé adopté par M. de Jouffroy était donc le moyen le plus ingénieux et le plus simple de tirer parti de la machine à vapeur telle qu'elle existait à cette époque.

Le petit bateau du marquis de Jouffroy navigua sur le Doubs pendant les mois de juin et de juillet de l'année 1776. Ces expériences suffirent pour faire reconnaître le vice du système palmipède. Une fois ramenés à l'avant du bateau,

les volets à charnières, tirés par la chaîne du piston, devaient s'ouvrir d'eux-mêmes par suite de la résistance du liquide. Au départ, ou quand la vitesse était médiocre, ils s'ouvraient, en effet, sans difficulté ; mais, lorsque le bateau avait acquis une certaine vitesse, la rapidité du courant les empêchait de se rouvrir. Cet inconvénient était surtout prononcé quand on remontait le cours de la rivière : en descendant il ne se manifestait que plus tard. Un tel défaut, il faut le dire, était loin d'être sans remède, et de nos jours le plus médiocre mécanicien eût trouvé moyen de l'annuler en armant les volets de quelque pièce mécanique qui les forçât de se développer au moment utile, et sans qu'il fût nécessaire de compter, pour réaliser cet effet, sur la résistance de l'eau. Mais des procédés d'exécution, qui ne seraient qu'un jeu pour les mécaniciens de notre époque, apparaissaient alors comme des problèmes insolubles. M. de Jouffroy recula devant cette difficulté insignifiante; au lieu de chercher à perfectionner le mécanisme de ses rames palmées, il abandonna entièrement ce système pour adopter celui des roues à aubes ou à palettes.

L'application des roues à aubes à la navigation était loin de constituer une idée nouvelle. La pensée de réunir sur une roue un certain nombre de rames, afin d'obtenir un emploi plus commode de la force motrice, remonte jusqu'à l'antiquité. Les roues à palettes sont au nombre des machines très-anciennes dont Vitruve ne connaissait pas l'inventeur (1). Il existe des médailles romaines qui représentent des navires de guerre (*liburnes*) armés de trois paires de roues mues par des bœufs, et Pancirolle, professeur de Padoue, qui en parle en 1587, prétend qu'elles surpassaient en vitesse les meilleures trirèmes (2). D'après un manuscrit cité

(1) *Pollionis Vitruvii architectura*, lib. X cap. IX et X (*De organorum ad aquam hauriendam generibus*).

(2) « Vidi etiam effigiem navium quarumdam, quas Liburnas dicunt

par M. de Montgery, il y aurait eu des roues à aubes tournées par des bœufs à bord des radeaux qui transportèrent les Romains en Sicile, pendant la première guerre punique (1). Un écrivain militaire du quinzième siècle, Robert Valturius, fait aussi mention de la substitution des roues à aubes aux rames ordinaires; il donne, dans son ouvrage, les dessins grossièrement exécutés de deux bateaux munis de petites roues en forme d'étoiles, et composées de l'assemblage de quatre rayons placés en croix réunis à un centre commun (2). Enfin le petit bateau à vapeur que Papin construisit en 1707, pour essayer de descendre le Weser, naviguait à l'aide de rames tournantes dont Papin avait emprunté l'idée à un petit bateau de plaisir appartenant au prince Rupert, qu'il avait vu fonctionner à Londres. Un mécanicien, nommé Duquet, avait fait à Marseille et au Havre, de 1687 à 1693, un grand nombre d'essais avec des rames tournantes, composées chacune de quatre rames courtes et larges, opposées deux à deux et placées en croix (3). Ces expériences avaient produit en France beaucoup d'impression, et cette idée ne tarda pas à y être poursuivie. En 1732, le comte de Saxe présenta à l'Académie des sciences de Paris le plan, très-bien conçu, d'un bateau remorqueur ayant de chaque côté une roue à aubes que faisait tourner un manége de quatre chevaux. « Ces roues, dit le comte de Saxe, faisant « le même effet que les rames perpendiculaires, il s'ensuivra

« buæ ab utroque latere extrinsecùs tres habebant rotas, aquam attin- « gentes : quarum quælibet octo constabat radiis, manus palmo è rota « prominentibus : intrinsecùs verò sex boves machinam quandam circum- « agendo, rotas illas incitabant : et radii aquam retrorsum pellentes. « Liburnam tanto impetu ad cursum propellebant, ut nulla triremis ei « posset resistere. » (*Guidonis Pancirolli Res memorabiles, sive deperditæ, commentariis illustratæ ab Henrico Salmuth*, pars 1, p. 127.)

(1) *Annales de l'industrie*, t. VIII, p. 294.

(2) Robertus Valturius, *De re militari*, lib. XI, cap. XII.

(3) *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences*, t. I, p. 173 et suiv.

« que la machine remontera contre un courant, et tirera « après elle le bateau proposé (1). » C'est à la suite de ce travail du comte de Saxe que l'Académie des sciences avait été amenée à mettre au concours la question des moyens de suppléer à l'action du vent.

L'emploi des roues à palettes dans la navigation n'avait donc rien de neuf dans son principe, mais la difficulté consistait à faire mouvoir ces roues par l'action de la machine à simple effet. Cette difficulté était considérable, en ce que cette machine, n'agissant que d'une manière intermittente, ne se prêtait qu'avec beaucoup de peine à produire un mouvement de rotation. On peut même dire que cette transformation du mouvement n'était point réalisable avec les conditions de régularité qu'il importait d'atteindre, et ce fut l'erreur du marquis de Jouffroy, d'abandonner le système palmipède qui s'accommodait assez bien de la machine à simple effet, pour y substituer les roues à aubes. Cependant les moyens qu'il mit en usage pour atteindre ce but étaient aussi bien conçus, et l'ingénieuse disposition qu'il adopta mérite d'être connue.

La machine à vapeur du marquis de Jouffroy avait deux cylindres. Au piston de chacun d'eux était fixé un anneau qui portait une chaîne de fer flexible, et les deux chaînes partant de chaque piston venaient s'enrouler sur un arbre unique destiné à faire tourner les roues. Les deux cylindres étaient placés l'un près de l'autre avec un certain degré d'inclinaison, et ils communiquaient entre eux à l'aide d'un large tube qu'une lame métallique, ou, comme on le dit aujourd'hui, un *tiroir*, pouvait parcourir, de manière à introduire la vapeur, selon son déplacement, dans l'un ou l'autre des deux cylindres. Le procédé employé pour transmettre aux roues du bateau le mouvement d'oscillation des deux

(1) *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences*, t. VI, p. 41.

pistons, était presque identique avec celui que Papin avait proposé pour le même objet en 1690, dans le mémoire que nous avons eu tant d'occasions de citer. M. de Jouffroy se servait d'une double crémaillère à rochets, qui agissait constamment sur une partie cannelée de l'arbre des roues ; les rochets supérieurs cédaient lorsque les rochets inférieurs poussaient, ce qui imprimait à l'arbre un mouvement de rotation.

La machine à vapeur qui mettait en jeu ce mécanisme présentait des dimensions considérables, puisque le piston avait vingt et un pouces de diamètre et une course de cinq pieds. Elle fut construite à Lyon en 1780, dans les ateliers de MM. Frères-Jean. Le bateau qui devait la recevoir offrait aussi de très-grandes proportions. Il avait quarante-six mètres de long sur cinq de large ; il atteignit donc à peu près les dimensions ordinaires des bateaux à vapeur qui naviguent aujourd'hui sur le Rhône ou le Rhin. Les roues de ce bateau avaient quatorze pieds de diamètre, les aubes étaient de six pieds de longueur et plongeaient à deux pieds dans la rivière. Le tirant d'eau du bateau était de trois pieds et son poids total de 327 milliers, 27 pour le navire et 300 de charge. C'est dans la ville même de Lyon, sur les eaux de la Saône, que le marquis de Jouffroy exécuta les intéressants essais de ce premier pyroscaphe. Le courant très-faible de cette rivière, que César nomme pour cette raison *lentissimus Arar*, convenait parfaitement pour des expériences de ce genre.

Le succès de ces expériences fut complet. De Lyon à l'île Barbe le courant fut remonté plusieurs fois, en présence de milliers de témoins, étonnés de voir cet énorme bateau se mouvoir sur la rivière sans qu'un seul homme apparût sur le pont, et grâce à l'action de l'invisible machine enfermée dans ses flancs. Le 15 juillet 1783, en présence de dix mille spectateurs qui se pressaient sur les quais, et sous les yeux

des membres de l'Académie de Lyon, le bateau du marquis de Jouffroy remonta le cours de la Saône, qui dépassait alors la hauteur des moyennes eaux. Un procès-verbal de l'événement et un acte de notoriété furent dressés par les soins de l'Académie de Lyon.

Comment une expérience aussi solennelle, aussi décisive, demeura-t-elle sans fruit pour l'inventeur et sans résultat pour le pays qui en avait été le théâtre ? C'est ici qu'il faut exposer la fâcheuse série de circonstances qui eurent pour effet d'annuler, entre les mains du marquis de Jouffroy, sa belle découverte ; c'est ici qu'il faut montrer le triste revers de l'effigie brillante qui vient d'être présentée.

Le succès de son système de navigation une fois constaté par une expérience publique, le marquis de Jouffroy s'occupa de réunir une compagnie financière dans la vue d'établir sur la Saône un service de transports réguliers, et de continuer en même temps les nouvelles expériences qu'il était nécessaire de poursuivre. Pour atteindre ce double but, la première condition à remplir, c'était de construire un nouveau bateau, car celui qui venait de servir aux expériences était entièrement hors de service. Les minces feuillets de sapin qui formaient sa coque et ses bordages, ne pouvaient être conservés pour un bateau destiné à un usage quotidien ; sa chaudière avait été fort mal exécutée, ce qui n'étonnera guère si l'on réfléchit à ce que l'on pouvait faire en ce genre en 1780 et dans une ville de province ; aussi, depuis la dernière expérience, elle se trouvait percée sur divers points et ne retenait plus la vapeur. Mais, avant de construire un bateau neuf et de commencer une exploitation sérieuse, la compagnie exigea d'être mise en possession d'un privilége de trente ans. L'autorité royale pouvait seule concéder cette faveur, on s'adressa donc à M. de Calonne. L'inconsistance et la légèreté de ce ministre apparurent ici dans tout leur jour. Pour accorder à M. de Jouffroy le pri-

vilége qu'il sollicitait, il suffisait de posséder la preuve authentique de la nouveauté de son invention. Or les faits parlaient haut sous ce rapport ; personne n'ignorait que rien de semblable à ce qui s'était vu à Lyon ne s'était encore produit sur aucun point du monde. L'importance extrême de la question, l'avenir et l'intérêt du pays commandaient donc, autant que la justice, de faire droit sans retard à la requête si modérée de l'inventeur. M. de Calonne en décida autrement. Il jugea nécessaire de consulter l'Académie des sciences pour savoir s'il y avait invention. De son côté, l'Académie outre-passa les vues du ministre, car elle prétendit juger, outre le fait de l'invention, la valeur même des procédés pratiques mis en usage. L'abbé Bossard, Cousin et Perrier furent nommés commissaires du *Mémoire sur les pompes à feu*, adressé par M. de Jouffroy ; Perrier et Borda furent spécialement désignés pour l'examen du pyroscaphe. Ainsi M. de Jouffroy trouvait pour juge celui qui avait été son rival dans la question même qu'il s'agissait d'examiner.

L'Académie des sciences de Paris était fort loin, à cette époque, des habitudes de convenance et de mesure qui la distinguent aujourd'hui. Une discussion orageuse s'éleva dans son sein, à propos de la prétention d'un gentilhomme obscur que peu de savants connaissaient et qui n'était d'aucune Académie. Le témoignage de dix mille personnes qui avaient assisté à l'expérience, le sentiment des académiciens de Lyon, les calculs et les assertions de l'auteur, tout cela fut compté pour rien. L'Académie répondit au ministre qu'avant d'accorder le privilége sollicité par M. de Jouffroy, il fallait exiger que ce dernier vînt répéter ses expériences sur la Seine, en faisant marcher, sous les yeux des commissaires de l'Académie, un bateau du port de 300 milliers. Ainsi la science ne voulait accueillir un résultat constaté à Lyon qu'après l'avoir vu se reproduire à Paris.

M. de Jouffroy, confiant dans le succès d'une expérience

authentique, exécutée sous les yeux de dix mille spectateurs, avait jugé inutile d'aller suivre à Paris une affaire aussi simple. Il attendait donc, dans une tranquillité parfaite, la délivrance de son privilége, lorsqu'il reçut du ministre la lettre suivante :

« VERSAILLES, le 31 janvier 1784.

« Je vous renvoie, Monsieur, l'attestation du succès qu'a eu à « Lyon la pompe à feu par laquelle vous vous proposez de sup- « pléer aux chevaux pour la navigation des rivières, ainsi que « d'autres pièces que vous m'avez adressées, jointes à votre re- « quête tendante à obtenir le privilége exclusif, pendant un « certain nombre d'années, de l'usage des machines de ce genre. « Il a paru que l'épreuve faite à Lyon ne remplissait pas suffi- « samment les conditions requises; mais si, au moyen de la « pompe à feu, vous réussissez à faire remonter sur la Seine, « l'espace de quelques lieues, un bateau chargé de 300 milliers, « et que le succès de cette épreuve soit constaté à Paris d'une « manière authentique, qui ne laisse aucun doute sur les avan- « tages de vos procédés, vous pouvez compter qu'il vous sera ac- « cordé un privilége limité à quinze années, ainsi que vous l'a « précédemment marqué M. Joly de Fleury.

« Je suis bien sincèrement, Monsieur, votre très-humble et « très-obéissant serviteur.

« DE CALONNE. »

En lisant cette lettre, M. de Jouffroy comprit qu'il devait abandonner tout espoir. Il avait consacré ses dernières ressources à la construction de son bateau de Lyon, et on lui demandait d'aller répéter à ses frais les mêmes expériences à Paris. Il était évident qu'il n'avait plus rien à attendre, et que son antagoniste Perrier venait, pour employer une expression du jour, d'enterrer sa découverte. Il n'éleva ni récriminations ni plaintes, et se borna, pour toute réponse, à expédier à Perrier un modèle au vingt-quatrième du bateau de Lyon. Nul n'a jamais su ce que cette pièce est devenue.

D'autres circonstances vinrent encore ajouter aux difficultés qui arrêtèrent M. de Jouffroy dans l'exécution de sa belle entreprise. Au siècle dernier, la noblesse provinciale faisait fort peu de cas des sciences, et surtout de l'industrie; les préjugés de ce genre n'étaient nulle part plus enracinés que dans la Franche-Comté. Aussi M. de Jouffroy rencontrait-il dans sa famille et chez ses amis une hostilité continuelle; on l'accusait de déroger, et peut-être, en effet, dérogeait-il aux traditions nobiliaires de son époque en s'occupant d'inventions utiles au perfectionnement et au bonheur de l'humanité. L'ignorance, qui tenait alors le sceptre des salons, lançait contre lui les traits du ridicule, qui tue en France et blesse en tout pays. On ne le désignait dans sa province que sous le sobriquet de *Jouffroy la Pompe*, et quand le bruit de ses essais parvint jusqu'à Versailles, on se disait à la cour, en s'abordant: « Connaissez-vous ce gentilhomme de la Franche-« Comté qui embarque des pompes à feu sur des rivières; ce « fou qui prétend faire accorder le feu et l'eau? » Survinrent les premiers événements de la révolution française. Le marquis de Jouffroy nourrissait d'ardentes convictions royalistes, il fut des premiers à embrasser le parti de l'émigration; il quitta la France en 1790. Une fois à l'étranger, il se trouva placé au milieu de circonstances qui le détournèrent forcément de ses travaux. Il entra dans l'armée de Condé et prit part aux vaines tentatives qui furent essayées sous le Directoire et sous l'Empire pour le rétablissement de la maison de Bourbon. Finalement, la France, qui, au temps de Papin, avait laissé tomber de ses mains la découverte de la vapeur, par suite des persécutions religieuses, perdit peut-être cette fois l'occasion et l'honneur de l'une des plus importantes applications de cette invention féconde.

L'abandon que le marquis de Jouffroy fit, vers 1789, de son projet de navigation par la vapeur, était d'autant plus regrettable, qu'au moment même où il renonçait à le pour-

suivre, les obstacles qu'il avait rencontrés jusqu'à cette époque allaient s'évanouir devant le génie de Watt. Si l'on a bien compris les difficultés qui empêchaient d'appliquer la machine à vapeur à simple effet à la navigation, on sentira tout de suite que la découverte de la machine à double effet permettait d'en triompher. En créant cette machine, d'où il excluait toute intervention de la pression atmosphérique, en imaginant avec le parallélogramme, la manivelle, le régulateur à force centrifuge, etc., des moyens parfaits pour transmettre et régulariser l'impulsion, Watt était parvenu à donner au mouvement de rotation de l'axe une égalité, une régularité admirables. La difficulté qui avait empêché jusque-là d'appliquer la vapeur à la navigation se trouvait ainsi aplanie, et il suffisait, pour tenter avec confiance l'essai de ce nouveau système, d'installer à bord d'un bateau une machine à condensation et à double effet, en l'accommodant, par des modifications et des dispositions spéciales, à l'objet nouveau qu'elle devait remplir.

Cette application si importante de la puissance de la vapeur ne fut cependant réalisée ni en Angleterre, où avaient pris naissance les plus remarquables perfectionnements de la machine à feu, ni en France, où s'étaient exécutés les premiers et plus brillants essais de ce nouveau procédé de navigation : elle devait s'accomplir sur le sol de la jeune Amérique, dans ces immenses et heureuses régions nouvellement écloses au soleil des sciences et de la liberté.

Mais avant de suivre dans le nouveau monde le développement et les progrès de la navigation par la vapeur, il est indispensable de faire connaître quelques tentatives intéressantes faites dans le même but en Écosse, à la fin du dernier siècle, et qui n'ont pas été tout à fait inutiles à sa création.

CHAPITRE II

Essais de Patrick Miller, James Taylor et William Symington, en Écosse, sur la navigation au moyen de la vapeur.

Patrick Miller était un gentilhomme anglais qui consacrait une grande fortune à des recherches et expériences sur les constructions maritimes. D'un esprit ingénieux et tourné aux découvertes, il avait réalisé des améliorations importantes dans l'art de construire les vaisseaux, et lancé dans les chantiers de l'Écosse plusieurs navires ou bateaux de formes nouvelles. Il s'était occupé aussi de recherches sur l'artillerie, et la *caronade* est de son invention. En 1786, il avait imaginé une nouvelle disposition pour les embarcations destinées à la mer et aux fleuves, c'était le *double-vaisseau*, composé de deux bateaux accolés ; il fondait sur cette invention de grandes espérances.

A cette époque, James Taylor, jeune homme intelligent et instruit, fut appelé dans la famille de Patrick Miller, comme précepteur des enfants. Initié aux travaux et aux recherches de Patrick Miller, il les suivit, d'abord par simple curiosité, mais il y prit bientôt un intérêt et un rôle plus actifs.

Patrick Miller, qui venait de construire, à titre d'essai, un de ses *doubles-bateaux* de petites dimensions, destiné à naviguer sur les rivières, avait fait, à cette occasion, un pari contre un M. Wedell, gentilhomme du voisinage, résidant à Leith, et qui possédait un bateau d'une grande vitesse. Le jour étant pris pour cet essai comparatif, James Taylor accompagna Patrick Miller pour lui prêter son aide dans cette petite lutte d'expérience et de plaisir. Le *double-bateau* de Patrick Miller avait soixante pieds de long ; il était mis

en mouvement par deux roues placées à ses flancs et manœuvrées par quatre hommes. M. Wedell, qui dirigeait son propre bateau, eut le dessous dans cette lutte de vitesse.

Jeune et vigoureux, James Taylor, pendant cette petite excursion. s'était mis à manœuvrer les roues avec les quatre hommes du bord. La besogne lui parut rude, et cette circonstance lui donna la conviction que si l'emploi des roues sur les bateaux avait des avantages manifestes, il fallait, de toute nécessité, pour en tirer un grand profit, disposer d'une force supérieure à celle du travail des hommes. Il essaya de faire partager cette opinion à Patrick Miller, assurant que les roues ne pourraient rendre de grands services pour remplacer les rames que quand on les mettrait en action par une force mécanique considérable, et d'une intensité supérieure à celle du travail humain.

Patrick Miller ne partageait point l'avis du jeune précepteur. Il espérait qu'un cabestan, convenablement disposé et manœuvré par des hommes, permettrait d'employer avec succès les roues sur les bateaux et les navires. Cependant il n'était pas entièrement satisfait de ce moyen, et cherchait quelque autre puissance mécanique susceptible de fonctionner facilement à bord d'un bateau. Il engagea James Taylor à réfléchir à ce sujet.

— Si vous voulez, lui dit-il, me prêter le secours de votre tête, nous trouverons peut-être l'agent de force mécanique que je cherche et qui m'est nécessaire.

Après avoir passé en revue tous les systèmes mécaniques connus à cette époque, James Taylor s'arrêta à l'idée d'employer la vapeur comme force motrice.

— C'est un moyen puissant, répondit Patrick Miller; mais j'entrevois de grandes difficultés dans son installation sur un bateau de rivière, et de grands dangers pour son emploi à bord des navires. Songez à l'incendie que peut provoquer le foyer d'une telle machine. Supposez que le feu vienne à s'é-

teindre par un coup de mer au moment d'entrer dans le port, un navire, près de la côte et aux approches des écueils du rivage, serait exposé à périr par l'absence de toute force motrice.

Ces objections n'agissaient que faiblement sur l'esprit du jeune précepteur, qui en revenait toujours à son idée de faire usage de machines à feu, sinon peut-être à bord des navires, au moins comme puissance motrice sur les rivières et les canaux.

Patrick Miller finit par se rendre à ses raisons.

— Eh bien ! dit-il, la chose mérite bien un essai. Concevez et soumettez-moi quelque projet d'appareil mécanique propre à transmettre aux roues du bateau les mouvements du balancier d'une machine à vapeur.

James Taylor traça alors le plan et le dessin d'un appareil destiné à faire tourner les roues d'un bateau par l'arbre moteur d'une machine à vapeur; Miller s'en montra satisfait.

— A notre premier voyage à Édimbourg, dit-il, nous soumettrons ce projet à un constructeur d'appareils mécaniques, et si le prix de la machine n'est pas trop élevé, nous la ferons exécuter pour l'essayer sur la pièce d'eau.

Ceci se passait à Dalswinton, terre de Patrick Miller, pendant l'été de 1787. Miller concevait sans doute à cette époque quelque espoir de la réussite de ce projet, car, ayant publié, en 1787, un mémoire relatif à une nouvelle disposition des navires, il fit mention, dans le cours de ce travail, de la possibilité d'employer la vapeur comme moyen de propulsion des vaisseaux. Il adressa son ouvrage aux principales Académies de l'Europe, aux ministres de la Grande-Bretagne, à la famille royale, à plusieurs membres des deux chambres et au président des États-Unis d'Amérique.

Au mois de novembre 1787, Patrick Miller ayant quitté sa terre de Dalswinton pour aller passer l'hiver à Édimbourg,

s'occupa, dès son arrivée dans la capitale de l'Ecosse, de l'exécution de la machine proposée par James Taylor.

Un jeune ingénieur, nommé William Symington, attaché à l'exploitation des mines de plomb de Wanlockhead, venait tout récemment d'inventer une disposition nouvelle de la machine à vapeur, différant de celle de Watt par la situation du condenseur qui se trouvait à la partie supérieure de l'appareil; cette modification avait été assez favorablement accueillie. La machine à vapeur de Symington parut à James Taylor très-convenable pour ce qu'il avait en vue. Symington, qui était arrivé à Édimbourg sur ces entrefaites, fut présenté par lui à M. Miller, qui lui exposa son désir. L'ingénieur écossais prit aussitôt l'engagement de construire une machine à vapeur propre à être installée sur un bateau, et il fut convenu que l'essai en serait fait l'été suivant, sur la pièce d'eau de Dalswinton, dans la terre de Patrick Miller.

A l'époque fixée, la machine étant construite, James Taylor la fit transporter à Dalswinton, et bientôt, c'est-à-dire au mois d'octobre 1788, Symington arriva lui-même pour assembler les pièces de la machine et l'installer sur un élégant petit bateau destiné à l'expérience.

On procéda peu de jours après sur la pièce d'eau de Dalswinton à cet intéressant essai. Le bateau qui reçut la machine avait 27 pieds anglais de long sur 7 de large. Le cylindre de la machine à vapeur était de 4 pouces de diamètre et d'environ deux chevaux de force. L'expérience eut un succès complet. Le bateau avançait avec une vitesse de 5 milles à l'heure. On s'amusa pendant quelques jours de ce bateau et de sa machine, qui fut ensuite séparée de l'embarcation et transportée au logis de Patrick Miller (1).

(1) Taylor consigna les résultats de cette expérience dans une lettre à l'éditeur du *Journal de Dumfries* et dans l'*Advertiser* d'Édimbourg. Le *Scot's Magazine* de novembre 1788 publia aussi dans une lettre de James Taylor la description de cette expérience.

Satisfait de ce premier essai, Patrick Miller se décida à faire construire la même machine sur un plus grand modèle, afin de l'essayer sur le canal de Forth et Clyde. Au printemps de 1789, il se rendit donc, avec Symington, à l'usine de Carron, dirigée alors par Boulton et Watt, pour y commander une machine à vapeur destinée à cet usage. En même temps, on s'occupa de construire le bateau qui devait servir à l'expérience.

Le bateau et la machine étant terminés, on les amena de l'usine de Carron au canal de Forth et Clyde où devait se faire l'expérience. James Taylor, qui fit transporter le bateau, était accompagné d'ingénieurs que les chefs de l'usine de Carron avaient envoyés pour être renseignés exactement sur le résultat de cette tentative importante.

Voici quelle était la disposition de la machine que Symington avait fait construire pour le bateau de Miller. Deux cylindres à vapeur dont le piston avait 18 pouces de diamètre, étaient placés sur le pont même du bateau, et apparents à l'extérieur. Aux tiges verticales de ces pistons étaient attachées des chaînes de fer, qui, par le mouvement d'ascension et d'abaissement de ces tiges, s'enroulaient autour d'une large poulie, et, se réfléchissant sur la gorge de cette poulie, allaient faire tourner, chacune, l'axe de l'une des roues du bateau.

Cette disposition était vicieuse en raison de la difficulté pratique que présentent le déroulement continuel d'une chaîne de fer, et l'imperfection d'un tel système de transmission de la force. Aussi les essais qui furent faits par Symington, en décembre 1789, en présence de Patrick Miller et des ingénieurs de l'usine de Carron, furent-ils de tous points défavorables. Le premier jour, les palettes des roues du bateau se rompirent pendant la marche ; on les construisit avec plus de solidité, et l'on reprit les mêmes essais peu de jours après. Mais ce furent alors les chaînes attachées au cylindre

de la machine qui se brisèrent par l'action inégale et saccadée de la vapeur.

En résumé, cet essai échoua complétement. A la suite de ces résultats défavorables, Miller, dégoûté de l'entreprise, ordonna de démonter le bateau et de ramener la machine à l'usine de Carron, pour essayer de s'en défaire. La lettre suivante adressée par Patrick Miller à James Taylor, le 7 décembre 1789, prouve suffisamment qu'il considérait le projet comme entièrement avorté.

« Mon cher Monsieur,

« Je suis de retour chez moi depuis la nuit dernière, et vous pouvez aisément vous imaginer que j'ai été bien préoccupé de ce qui s'est passé mercredi et jeudi à Carron. Je suis maintenant convaincu que la machine à vapeur de M. Symington serait la plus impropre de toutes les machines à vapeur pour imprimer le mouvement à un bateau, et que cet ingénieur n'a nullement su calculer le frottement ni tenir compte de l'intensité de la force mécanique.

« Je ne doute pas qu'en construisant plus solidement les roues à palettes et avec un pignon d'un diamètre double, on n'augmentât la rapidité du bateau. Mais quoi qu'on fasse avec l'appareil de M. Symington, la plus grande partie de la force sera perdue par les frottements. Je me rappelle fort bien que lorsque la machine fut essayée à Dalswinton, sur notre petit bateau, j'avais eu les mêmes appréhensions sur la valeur de cette machine, et que je vous en fis la remarque ; mais n'ayant pas étudié le sujet, je mis de côté mon propre sens commun et vous laissai agir.

« Maintenant le mal est sans remède. Comme cette machine ne peut à présent être d'aucun usage pour moi, j'espère qu'avec l'aide de M. Thibbets et de M. Stainton, vous trouverez à la vendre avant de quitter l'usine de Carron. Je désire apprendre bientôt ce qu'il en sera. Sachez bien que les chaînes de fer de la machine qui se brisèrent dans les deux expériences successives que nous en fîmes, se briseraient encore si on ne leur donnait pas plus de force, et que ce fut une folie extrême de ne pas comprendre tout de suite que leur résistance n'était pas suffisante pour soutenir l'effort des autres parties de la machine.

« P. MILLER. »

L'opinion de Patrick Miller lui-même sur la valeur des expériences que nous venons de rapporter, ne peut être mise en doute d'après cette lettre. Miller déclare la machine de Symington la plus impropre de toutes les machines à vapeur pour imprimer le mouvement à un bateau, et il s'accuse d'avoir mis de côté le « sens commun, » en consentant à l'essayer. Il est certain que l'emploi de chaînes de fer pour imprimer un mouvement de rotation à l'arbre des roues du bateau était une conception très-vicieuse, et que la machine, ainsi construite, n'aurait jamais pu fonctionner avantageusement.

Après l'essai qu'il fit, en 1789, de la machine de Symington, Patrick Miller renonça complétement à s'occuper de la navigation par la vapeur. Il donna tous ses soins à de vastes entreprises d'exploitation agricole, qui l'absorbèrent jusqu'à la fin de sa vie. Quant à James Taylor, ses fonctions de précepteur étant accomplies, il quitta, en 1791, la maison de Patrick Miller, qu'il ne revit, depuis cette époque, qu'en de rares occasions. De son côté, Taylor lui-même ne s'occupa pas davantage de cette question, bien qu'il eût formé, avec Symington et quelques particuliers, une société pour l'exploitation de cet appareil de navigation à vapeur.

S'il fallait fournir une autre preuve du peu de valeur que Patrick Miller reconnaissait à ses expériences sur la navigation par la vapeur, il nous suffirait de dire que, postérieurement aux essais que nous venons de rapporter, il prit un brevet pour un moyen nouveau d'imprimer une impulsion aux navires, et que dans ce brevet il ne spécifiait point l'emploi de la vapeur comme force motrice, mais bien un moteur d'une autre nature. Dans un brevet pris le 3 mai 1796, c'est-à-dire sept ans après son expérience à Dalswinton, il décrit avec beaucoup de détails « un bateau de construction nouvelle, « tirant moins d'eau qu'aucun autre de même dimension, ne « pouvant sombrer en mer, et qui est mis en mouvement

« dans les temps calmes par un moyen mécanique qui n'a « jamais été employé. Ce vaisseau est à fond plat... Il est mû « par des roues ; ces roues sont manœuvrées par des cabes- « tans ; elles ont 8 aubes faites en planches, et sont mues par « la main des hommes ou tout autre moyen mécanique. »

Ainsi, dans son brevet obtenu sept ans après l'expérience du bateau de Symington, Miller en revenait à l'emploi des roues mises en mouvement par le travail des hommes. Ce fait témoigne suffisamment qu'il n'ajoutait aucune confiance à l'idée de l'emploi de la vapeur à bord des navires ; il n'eût pas manqué, sans cela, de spécifier ce moyen et de consigner, dans ce dernier brevet, les tentatives faites par lui dans cette direction. Avec d'autant plus de raison, ajouterons-nous, qu'il était intéressé dans l'association que Taylor avait créée avec quelques particuliers pour appliquer la machine de Symington à la propulsion des bateaux. Or, dans ce brevet, il ne fait pas même mention de l'existence de ce moyen de propulsion des navires à la création duquel il avait pourtant lui-même activement contribué.

La machine de Symington, telle qu'elle fut imaginée et construite par cet ingénieur, en 1789, était essentiellement imparfaite ; l'emploi des chaînes attachées à la tige du piston à vapeur était le principal de ses défauts ; aussi était-elle hors d'état d'être employée dans la pratique. Mais Symington perfectionna plus tard son œuvre, et comme nous le verrons plus loin, douze ans après, il avait transformé avec bonheur ce premier et insuffisant appareil. En 1801, l'ingénieur écossais installait sur un bateau une machine à vapeur de dispositions parfaites, et qui ne fut pas consultée sans profit par Fulton. Mais avant d'entrer dans le récit de ces faits, nous devons nous transporter en Amérique pour y assister aux véritables débuts et aux premiers progrès de la grande invention que nous essayons de raconter.

CHAPITRE III

Essais de Fitch et de Rumsey en Amérique. — Premiers travaux de Fulton en Europe.

Après huit ans de guerre, l'acte du 5 septembre 1783 venait de proclamer l'affranchissement de l'Amérique ; la bravoure de Washington et la sagesse de Franklin avaient fondé l'indépendance des États de l'Union. Les arts de la paix, les bienfaits de l'industrie devaient bientôt rendre fructueuse la grande tâche accomplie par le succès des armes américaines. Mais la situation topographique de ces contrées offrait de grands obstacles à l'établissement des relations du commerce. Les États-Unis, avec leur territoire immense, dont l'étendue dépasse de beaucoup la moitié de l'Europe, avec leur population très-faible encore et disséminée sur tous les points, dépourvus de tout système de bonnes routes, et sillonnés par de grands fleuves dont les rives, couvertes de forêts épaisses, sont inaccessibles au halage, ne pouvaient s'accommoder des moyens de transport usités parmi nous. L'essor du commerce menaçait donc de s'y trouver promptement arrêté par l'insuffisance des voies de communication entre l'intérieur et l'Océan. Les fleuves qui traversent le pays, les lacs immenses qui le bornent au nord, les golfes et les baies qui dessinent ses côtes méridionales, auraient pu sans doute fournir des moyens peu coûteux de communication ; mais enfermés dans les terres et protégés ainsi contre l'action des vents, les golfes de l'Amérique n'offrent qu'un moyen assez lent de navigation, et les bords vaseux de ses fleuves, les forêts qui les hérissent, rendent impraticables les procédés du halage. En outre, le Mississipi et ses bran-

ches innombrables sont inaccessibles, dans une grande partie de leur cours, à toute espèce de navires à voiles ou à rames, en raison de la rapidité des courants. C'est ainsi que les bateaux plats qui descendaient ce grand fleuve, mettaient plus d'un mois à se rendre de l'ouest à la Nouvelle-Orléans, où ils étaient tous démolis, faute de pouvoir, même avec des voiles, retourner à leur point de départ. Il est donc facile de comprendre de quelle importance devait être pour l'Amérique la navigation par la vapeur, qui, sur les fleuves, dispense de tout moyen de halage et triomphe de la rapidité des cours d'eau, et qui, sur les mers, n'a point d'impulsion à demander aux vents ni de retards à essuyer du calme ou des tempêtes. La vapeur eût-elle été inutile au reste du globe, il aurait fallu l'inventer tout exprès pour ces vastes contrées. Aussi la machine de Watt à double effet était à peine connue en Angleterre, que l'on essayait aux États-Unis de l'appliquer à la navigation.

La machine à double effet fut rendue publique en 1781, et ce fut en 1784 qu'elle reçut les perfectionnements qui la rendirent susceptible de transmettre un mouvement de rotation parfaitement régulier. Dans cette année même, en 1784, deux constructeurs américains, John Fitch et James Rumsey, exposaient au général Washington le résultat de leurs travaux. Rumsey se présenta le premier, mais Fitch se trouva avant lui en état de faire l'essai de son système sur une échelle d'une grandeur suffisante.

L'appareil moteur que Fitch mit en usage et qu'il présenta dès l'année 1785 à la *Société philosophique de Philadelphie*, se composait de rames ordinaires placées sur les flancs du bateau et mises en mouvement par la vapeur. Fitch avait fixé toutes les rames à une règle de bois horizontale qui était mue par l'arbre de la machine à vapeur; ainsi mises en mouvement, elles agissaient à la manière des rames ordinaires, seulement la force des hommes était remplacée par celle de la vapeur.

En 1788, John Fitch obtint du gouvernement des États-Unis un privilége pour l'exploitation exclusive de la navigation par la vapeur dans les États de Pensylvanie, New-York, New-Jersey, Delaware, etc. Mais, de son côté, James Rumsey, qui affirmait avoir perfectionné ce système, demanda en même temps un privilége semblable pour les États de Pensylvanie. La compagnie formée par John Fitch, et qui avait à sa tête, comme principal actionnaire, le docteur Thornton, parvint à faire évincer celle de James Rumsey. La chambre des États-Unis, devant laquelle le différend fut porté, refusa à Rumsey le privilége qu'il sollicitait et qui fut maintenu à la compagnie de Fitch. Dans son *Voyage en Amérique*, Brissot, l'exilé de la Convention, qui avait vu fonctionner dans les États de Pensylvanie le bateau de John Fitch, donne un bon témoignage des effets de cet appareil.

Cependant la machine de Fitch offrait bien peu d'avantages. Dans les premiers essais faits en 1785, elle pouvait à peine imprimer à un bateau une vitesse de deux nœuds et demi. En 1787, Fitch construisit un second bateau qui fit plusieurs excursions sur le Delaware, et qui filait quelquefois, s'il faut en croire les adversaires de Fulton, jusqu'à cinq à six nœuds (1). Le dérangement continuel du mécanisme qui mettait en action les rames, et plus encore le découragement des actionnaires qui avaient avancé sans résultat des sommes importantes, firent abandonner l'entreprise par la compagnie siégeant à Washington, et qui était dirigée par le docteur Thornton.

En 1791, Fitch s'embarqua pour l'Europe; il se rendait en France pour essayer d'y faire admettre son système de navigation par la vapeur. Il se lia à Lorient, avec un consul

(1) *A short account of steam boats by Dr Thornton, director of the Patent office, Washington, United States* (*Monthly Magazine*, octobre 1815).

américain nommé Wail, et forma avec lui le projet d'établir des bateaux à vapeur en France. Un modèle de sa machine à vapeur pour les bateaux et les navires fut présenté à Paris avec quelque solennité dans une séance de la Convention nationale, où cette exhibition fut très-bien accueillie. Cependant, aucun constructeur français n'osa mettre à exécution les modèles des ingénieurs américains. Fitch et Wail, qui avaient d'abord été encouragés par le gouvernement, furent bientôt abandonnés à leurs propres ressources : on était à la fin de 1792, et cette date explique tout.

L'Encyclopédie du docteur Brewster (*Brewster's Cyclopædia*) contient la description et la figure de la machine de navigation de Fitch, d'après un recueil américain, *Columbian Magazine*, de décembre 1786. L'appareil se réduit, comme nous l'avons indiqué plus haut, à quatre couples de rames placées aux deux extrémités du bateau, et qui sont mises en action, grâce à des renvois de mouvement, par l'arbre de la machine à vapeur placé au milieu du bateau. Ces rames agissaient perpendiculairement sur l'eau ; chaque couple était mis alternativement en action.

Après l'insuccès de ses tentatives en France, Fitch revint dans sa patrie en 1793. Ruiné par son entreprise et réduit à la misère, il se donna la mort en se précipitant dans les eaux de l'Alleghany.

Le second constructeur américain, James Rumsey, avait adopté un appareil moteur tout différent de celui de Fitch. Il se servait d'une pompe qui puisait l'eau à l'avant du bateau et la refoulait sous la quille pour la faire ressortir à l'arrière. Ce système avait été proposé, en France, par Daniel Bernouilli ; Franklin l'avait jugé avec faveur. On trouve ce sujet traité avec étendue dans l'une de ses lettres (1). Ne

(1) *Lettre à M. Leroy*, du 5 avril 1775 (Œuvres de Franklin).

considérant que le cas extrême des roues à aubes immergées jusqu'à l'arbre, Franklin avait cru prouver que l'on perdrait beaucoup de force en employant les roues à aubes comme moyen de propulsion nautique. Le système de Bernouilli lui semblait donc supérieur, et il conseilla à Rumsey d'en faire l'application à son bateau Ce dernier en fit l'essai en 1787 ; mais le bateau ne filait que deux nœuds et demi. Ayant reconnu l'insuffisance de ce moyen, Rumsey y substitua de longues perches qui poussaient le batean en s'appuyant sur le fond de la rivière ; ces perches étaient mises en mouvement par des manivelles fixées sur l'axe du volant de la machine à vapeur.

Nous avons vu qu'en 1788, la chambre législative des États-Unis s'était montrée défavorable au projet de Rumsey, et avait maintenu à son rival Fitch l'exploitation privilégiée de la navigation par la vapeur dans les États de Pensylvanie. Dans la suite de ses travaux, Rumsey ne trouva pas plus d'encouragement dans son pays, et ces diverses circonstances le décidèrent en 1788 à se rendre en Europe pour y faire connaître ses idées. Il fut bien accueilli à Londres, car il trouva dans le secours de quelques compatriotes le moyen de construire des bateaux à vapeur d'après son système.

James Rumsey en était revenu à l'emploi, comme moyen moteur, du refoulement de l'eau sous la quille d'après le système de Bernouilli, système qui, pour le dire en passant, est peut-être appelé à rendre de nos jours de grands services dans la navigation à vapeur. Le brevet qu'il prit à Londres, en 1790, avait pour objet « une nouvelle méthode « d'appliquer la force de la vapeur pour le service des « différentes machines, des moulins et de la navigation. » Cette méthode consistait à refouler l'eau sous la quille à la partie antérieure du bateau par une pompe mue de haut en bas ; le bateau avançait donc par l'effet de la réac-

tion de l'eau contre le fond et les parois du bateau (1).

Rumsey était parvenu à intéresser à son entreprise un riche négociant américain résidant à Londres. Avec le secours de ce compatriote et de quelques autres amis, il avait pu réunir la somme nécessaire pour entreprendre les essais de son système de navigation. Ayant employé deux ans à ses préparatifs, il se disposait à mettre la dernière main à son œuvre, lorsqu'il mourut à la veille d'atteindre le but qu'il poursuivait depuis si longtemps.

Cependant, en février 1793, ses associés lancèrent sur la Tamise le bateau de Rumsey. Il marcha parfaitement contre le vent et la marée, filant quatre nœuds. La machine consistait en une pompe foulante, dont le piston avait 2 pieds anglais de diamètre, mise en mouvement par la vapeur, et qui refoulait l'eau sous la quille. Au moment du retour de l'eau, la soupape qui avait donné issue à cette eau se refermait, et l'eau s'engageait dans un canal de 6 pouces de section pour s'échapper à l'arrière du gouvernail.

Si Rumsey échoua dans ses efforts pour créer la navigation par la vapeur, il contribua par une autre voie à ses succès futurs, car c'est à lui que revient l'honneur d'avoir dirigé sur ce sujet l'attention de l'ingénieur illustre auquel l'univers doit ce bienfait. Rumsey avait eu l'occasion de rencontrer à Londres son compatriote Robert Fulton, alors âgé de vingt-quatre ans. La conformité de leurs goûts établit entre eux une grande intimité, et c'est par les conseils et à l'instigation de Rumsey, que Fulton fut amené à s'occuper pour la première fois de la navigation par la vapeur.

Robert Fulton, dont le nom vient d'apparaître à cette pé-

(1) Dans son ouvrage historique sur la navigation par la vapeur, *A Sketch of the origin and progress of steam navigation*, publié en 1848, M. Woodcroft, professeur de mécanique à l'université de Londres, donne le plan et la description de l'appareil moteur employé par Rumsey pour la propulsion des bateaux.

riode de notre récit, était né en 1765, à Little-Britain, dans le comté de Lancastre, État de Pensylvanie (Amérique du Nord). Ses parents étaient de pauvres émigrés irlandais. Ayant perdu son père dès l'âge de trois ans, sa première instruction se réduisit à apprendre à lire et à écrire dans une école de village. Il fut envoyé très-jeune à Philadelphie, où il entra chez un joaillier pour apprendre cette profession. Les occupations de son apprentissage ne l'empêchèrent pas de cultiver les dispositions remarquables qu'il avait pour le dessin, la peinture et la mécanique. Ses progrès dans la peinture furent tels, qu'avant l'âge de dix-sept ans, il était parvenu à se créer des ressources avec son pinceau. Il allait d'auberge en auberge vendre des tableaux et faire des portraits, et il finit par s'établir comme peintre en miniature, au coin de *Second* et *Walnut streets*, à Philadelphie. Étant parvenu à se procurer ainsi une petite somme, il acheta dans le comté de Washington une ferme où il plaça sa mère. En revenant à Philadelphie, il s'arrêta aux eaux thermales de Pensylvanie, et s'y lia avec quelques personnes distinguées, entre autres avec M. Samuel Scorbitt. Frappé des dispositions qu'il annonçait pour la peinture, M. Scorbitt l'engagea à se rendre à Londres, où son compatriote Benjamin West, qui avait acquis en Angleterre une certaine célébrité, serait fier d'encourager ses talents. Franklin, qui avait connu le jeune artiste à Philadelphie, lui avait déjà donné le même conseil ; Fulton résolut donc de partir pour l'Angleterre, et M. Scorbitt lui ayant fourni les moyens d'entreprendre ce voyage, il s'embarqua à New-York en 1786.

Ses espérances ne furent point trompées ; West le reçut comme un ami ; il en fit son commensal et son disciple. Cependant Fulton ne devait pas exercer longtemps la profession de peintre : désespérant d'atteindre la perfection dans cet art, entraîné d'ailleurs par la prédominance de ses goûts,

il jeta les pinceaux pour s'adonner entièrement à l'étude de la mécanique. Il séjourna quelque temps à Exeter, dans le Devonshire, et résida ensuite deux années dans la grande cité manufacturière de Birmingham, où il fut employé pendant tout cet intervalle comme dessinateur de machines dans une fabrique. Il s'y attira le patronage du duc de Bridgewater et du comte de Stanhope. En 1788, décidé à tirer parti des connaissances mécaniques qu'il venait d'acquérir, il revint à Londres, et c'est là que le hasard le mit en rapport avec son compatriote Rumsey. Ce dernier n'eut pas de peine à lui faire comprendre tous les avantages que devait amener en Amérique la création de la navigation par la vapeur, et Fulton s'occupa aussitôt de corriger les vices manifestes du système mécanique adopté par Rumsey. Il était persuadé dès cette époque de la supériorité que présentaient les roues à aubes sur tout autre système de propulsion, et il voulait les faire adopter par son compatriote, lorsque la mort de ce dernier vint arrêter leurs projets communs.

Le comte de Stanhope, bien connu en Angleterre par son goût passionné pour les arts mécaniques, s'occupait, vers le même temps, de quelques essais sur la navigation par la vapeur. Il avait construit un bateau muni d'une machine assez puissante, et il se servait pour moteur d'un appareil palmipède analogue à celui qu'avait employé le marquis de Jouffroy. Fulton n'hésita pas à lui écrire, pour le dissuader d'employer cet appareil, lui recommandant les roues à aubes, et se mettant, pour l'exécution de ce projet, à la disposition du noble lord. Mais ce bon conseil ne fut pas écouté, et la négligence de lord Stanhope à suivre les avis de Fulton amena un retard considérable dans la création de la navigation par la vapeur.

Cette circonstance détourna pour quelque temps le jeune ingénieur de ses projets relatifs à la navigation, et l'ardeur de son esprit se porta vers d'autres sujets. Il présenta, en

1794, au gouvernement britannique, un nouveau système de canalisation. Ce système consistait à construire des canaux de petite section et à substituer aux écluses des plans inclinés, sur lesquels des bateaux, jaugeant seulement de 8 à 10 tonnes, étaient élevés ou descendus avec leur chargement, au moyen de machines mises en mouvement par la vapeur ou par l'eau. Cette idée, déjà pratiquée en Chine depuis un temps immémorial, venait d'être reproduite en Angleterre par William Reynold. A ce système Fulton ajoutait la construction de routes, d'aqueducs et de ponts de fer. Mais ni le gouvernement britannique, ni de riches sociétés auxquelles il s'adressa, ne voulurent consentir à examiner ses plans, et le public ne fit guère plus d'attention à un ouvrage qu'il publia sur cette question pour répandre et faire connaître ses idées. Il s'occupait en même temps de l'exécution de beaucoup d'autres projets mécaniques; il imaginait, pour creuser les canaux, des espèces de charrues qui sont maintenant en usage aux Etats-Unis ; il présentait à la Société d'encouragement de l'industrie un moulin de son invention pour scier et polir le marbre ; il construisait une machine à filer le chanvre et le lin, et une autre pour fabriquer des cordages. Quelques lettres de remerciement de certaines sociétés savantes, une médaille d'honneur et trois ou quatre brevets d'invention, furent tout ce qu'il obtint dans la Grande-Bretagne. Espérant trouver plus d'encouragement en France, Fulton se rendit à Paris vers la fin de l'année 1796.

Arrivé en France, il se hâta de faire des démarches auprès des ministres et des gens de finance, dans la vue de les intéresser à son nouveau système de canalisation. Mais il reconnut bien vite que ces projets réussiraient encore moins à Paris qu'en Angleterre. Il tourna donc ses vues d'un autre côté.

Le commerce des États-Unis éprouvait les plus graves

dommages des longues guerres qui agitaient l'Europe depuis le commencement de la révolution française. Par les ressources immenses de sa marine, l'Angleterre exerçait sur le monde entier un empire tyrannique, en arrêtant les produits importés en France par les nations étrangères, et en s'arrogeant le droit de soumettre à une visite, malgré la protection de leur pavillon, tous les navires qui parcouraient l'Océan. Les États-Unis souffraient en particulier de ce long état d'asservissement, et Fulton, sorte de quaker ou de philosophe humanitaire, était tourmenté du désir d'assurer, en faveur de son pays, la liberté des mers. *The liberty of the seas will be the happiness of the earth* : « La liberté des mers fera le bonheur du monde, » telle était la sentence qui était souvent dans sa bouche. Dans l'espoir de détruire le système de guerre maritime des Européens, il s'attacha à découvrir un moyen d'affranchir les nations plus faibles de la tyrannie britannique. C'est cette considération qui lui suggéra, s'il faut l'en croire, l'idée de son système d'attaques sous-marines, qui dès ce moment, ne cessa de l'occuper jusqu'à la fin de sa vie. Au mois de décembre 1797, il commença à Paris une série d'expériences sur la manière de diriger entre deux eaux, et de faire éclater à un point donné, des boîtes remplies de poudres destinées à faire sauter les vaisseaux. C'est là que s'étaient arrêtées, en 1777, les expériences d'un Américain nommé Bushnell, qui avait le premier imaginé les bateaux plongeurs. Mais les ressources manquaient à Fulton pour poursuivre ses expériences ; il s'adressa donc au Directoire, qui renvoya sa pétition au ministre de la guerre. Ses plans, examinés, furent jugés impraticables. Sans se décourager, il exécuta un très-beau modèle de son bateau sous-marin, et muni de cet argument qui parlait aux yeux, il se présenta de nouveau au Directoire. Il fut mieux accueilli cette fois ; une commission fut nommée pour examiner son bateau, et le rapport de cette commission se mon-

tra favorable ; aussi ce ne fut pas sans surprise qu'après de très-longs délais, il reçut du ministre de la marine l'avis que ses plans étaient définitivement rejetés.

Trois ans s'étaient passés dans ces travaux et ces sollicitations inutiles. Ne conservant plus d'espoir auprès du gouvernement français, Fulton s'était adressé à la Hollande. Mais la république batave n'avait pas mieux accueilli ses projets, et il se trouvait hors d'état de faire face aux dépenses que nécessitaient ses recherches. Son talent de peintre vint lui fournir les moyens de les poursuivre. Pendant les sept années qu'il résida à Paris, Fulton habita l'hôtel de M. Joel Barlow, poëte et diplomate américain, qui avait conçu pour lui la plus vive amitié, et l'avait mis en relation avec les ingénieurs et les savants de la capitale. M. Barlow ayant conçu, à cette époque, le projet d'importer à Paris la découverte des Panoramas, due à Robert Barker, peintre d'Édimbourg, chargea Fulton d'exécuter le premier tableau de ce genre qui ait été offert à la curiosité des Parisiens. Cette spéculation obtint le plus grand succès, et resserra encore les liens d'amitié qui unissaient le premier des poëtes et le plus illustre des ingénieurs américains; elle donna à Fulton les moyens de continuer ses expériences sur les procédés d'attaque sous-marine.

Bonaparte venait d'être élevé au consulat à vie. Fulton, espérant trouver près de lui des encouragements efficaces, lui écrivit pour lui faire connaître ses travaux, et pour demander qu'une commission examinât son bateau plongeur et ses appareils sous-marins. Sa requête eut un plein succès. Des fonds lui furent accordés pour continuer ses expériences : Volney, Monge et Laplace, nommés commissaires, approuvèrent ses vues. En 1800, sur l'invitation des commissaires du premier consul, et avec les fonds accordés par le ministère, Fulton construisit un grand bateau sous-marin qui fut soumis à Rouen et au Havre à différents essais. Ils

ne répondirent pas cependant aux promesses de l'inventeur. Pendant l'été de 1801, Fulton se rendit à Brest avec le même bateau, et il exécuta dans ce port plusieurs expériences remarquables. Il s'enfonça un jour jusqu'à 80 mètres sous l'eau, y demeura vingt minutes et revint à la surface après avoir parcouru une assez grande distance; puis, disparaissant de nouveau, il regagna son point de départ. Le 17 août 1801, il resta plus de quatre heures sous l'eau, et ressortit à cinq lieues de son point d'immersion (1).

Fulton réussit, à l'aide de ses appareils, à faire sauter,

(1) Les divers appareils de guerre sous-marine, auxquels Fulton ajoutait une importance extraordinaire, ont aujourd'hui perdu beaucoup de leur intérêt, soit que l'expérience n'ait pas confirmé tous les résultats promis, soit que les circonstances qui rendaient leur secours utile aient maintenant disparu. Il serait donc hors de propos de s'étendre sur la description détaillée de ces appareils : quelques mots suffiront pour en donner l'idée.

L'instrument destiné à produire les explosions sous-marines, et que Fulton désignait sous le nom de *torpedo* ou *torpille*, consistait en une boîte de cuivre pouvant contenir de 80 à 100 livres de poudre ; cette boîte était armée d'une platine de fusil qui pouvait faire feu à un moment donné ; le tout était attaché à l'extrémité d'une corde longue de 60 pieds, que l'on passait dans une poulie fixée sous l'eau contre le flanc du petit bateau qui portait la torpille. Pour attaquer et faire sauter une embarcation ennemie, Fulton attachait une sorte de harpon à l'extrémité de la corde qui flottait sur l'eau, et quand on dirigeait le petit bateau contre un navire, le mouvement de l'eau suffisait pour attirer l'extrémité de la corde et la fixer à la quille par son harpon. Au bout d'un temps réglé par la fin d'un mouvement d'horlogerie qui communiquait à la platine du fusil, l'explosion se faisait, et en raison de l'incompressibilité de l'eau, tout l'effet explosif se portait contre le navire. Quelquefois la torpille était lancée contre les bâtiments à l'ancre : le mouvement du courant devait alors suffire pour l'attirer contre eux ; d'autres fois, enfin, on plongeait la torpille à 12 ou 14 pieds au-dessous de la surface de l'eau en l'armant d'une détente qui devait partir et enflammer la poudre dès que le navire la toucherait légèrement. Quant au bateau plongeur que Fulton désignait sous le nom de *Nautilus*, et qui lui servait à submerger ses torpilles ou à s'enfoncer inopinément dans l'eau pour échapper à l'observation de l'ennemi, il ressemblait assez aux différents bateaux de ce genre que l'on a vus, de nos jours, manœuvrer dans les ports.

dans la rade de Brest, une chaloupe qui s'y trouvait à l'ancre. A la distance de 200 mètres, il lança son *torpedo* contre la chaloupe, qui, au bout d'un quart d'heure, sauta en l'air au milieu d'une colonne d'eau soulevée à plus de 100 pieds. Cette expérience, qui excita à Brest beaucoup de curiosité, eut lieu en présence de l'amiral Villaret et d'une multitude de spectateurs. Fulton essaya alors de s'approcher de quelques-uns des navires anglais qui croisaient sur les côtes, et s'avançaient fréquemment dans les parages de Berthaume et de Camaret, près de Brest. Il fut sur le point, dans les parages du Havre, de joindre un vaisseau anglais de 74, mais celui-ci changea tout à coup de direction et s'éloigna du *Nautilus*. Plusieurs mois s'écoulèrent ensuite sans qu'aucun bâtiment ennemi s'approchât assez du rivage pour permettre de renouveler la tentative.

Toutes ces lenteurs fatiguèrent le premier consul, qui cessa peu à peu d'ajouter de l'importance aux inventions sous-marines, et qui finit même par les déclarer impraticables. Les mémoires et les pétitions de Fulton commencèrent à demeurer sans réponse, et il fut définitivement informé que le gouvernement français n'entendait plus donner suite à aucun essai de ce genre.

Forcé de renoncer aux projets qu'il poursuivait depuis six ans avec une si grande ardeur, Fulton se disposait à retourner en Amérique, lorsque, vers la fin de 1801, et au moment où il s'occupait des préparatifs de son départ, il rencontra à Paris M. Livingston, ambassadeur des Etats-Unis. Robert Livingston, qui avait rempli pendant vingt-cinq ans, dans l'État de New-York, les fonctions de chancelier, et qui vint à bout de conclure avec la France le traité de cession de la Louisiane, si avantageux pour sa patrie, ne s'était pas seulement occupé à New-York de travaux diplomatiques. Versé dans la connaissance de l'industrie et des arts, il s'était consacré avec beaucoup de zèle à l'étude de la question des

bateaux à vapeur. En 1797, avec l'aide d'un Anglais nommé Nisbett et du Français Brunel, le célèbre ingénieur qui construisit plus tard le tunnel de la Tamise à Londres, il avait établi sur l'Hudson divers modèles de bateaux à vapeur destinés à des expériences. On avait essayé, sous sa direction, les divers mécanismes applicables à la progression des bateaux : des roues à aubes, des surfaces en hélice, des pattes d'oie, des chaînes sans fin, etc. Plein de confiance dans le succès, il avait alors demandé à la législature de l'État de New-York un privilége exclusif de navigation par la vapeur sur les eaux de cet État, faveur que l'on s'était empressé de lui accorder, à la condition, pour lui, de présenter dans le délai d'un an un bateau marchant par l'effet de la vapeur, et faisant 4^{kilom},8 à l'heure. Cependant les expériences n'ayant pas fourni les résultats attendus, les conditions stipulées dans l'acte du Congrès n'avaient pu être remplies, et le projet en était resté là. C'est inutilement que Livingston s'était associé, en 1800, avec un très-habile constructeur, John Stevens (de Hobocken). Tous les efforts de Stevens avaient échoué pour remplir les conditions imposées par la législature de New-York. Mais cet échec n'avait pas découragé Livingston, et lorsqu'il vint en France, chargé de représenter le gouvernement de son pays, il apportait en Europe le plus vif espoir de succès. A peine eut-il établi quelques relations avec Fulton, qu'il comprit tout le parti qu'il pourrait tirer de l'activité, des talents et des études spéciales de ce remarquable ingénieur. Aussi lorsque, au moment de s'embarquer pour l'Amérique, Fulton se présenta à l'ambassade des États-Unis pour y prendre congé du représentant de sa nation, Livingston fit-il tous ses efforts pour le dissuader de son projet ; il l'engagea à différer son départ pour s'occuper avec lui de la grande question des bateaux à vapeur qui importait à un si haut degré à la prospérité et à l'avenir de leur commune patrie. A la suite de

leurs conférences, un acte d'association fut passé entre eux : Livingston se chargeait de fournir tous les fonds nécessaires à l'entreprise, les expériences à exécuter étaient confiées à Fulton.

Tous les systèmes essayés jusqu'à cette époque pour la création de la navigation par la vapeur avaient échoué sans exception. Fulton attribuait ces échecs au vice des appareils de propulsion mis en usage. Il jugea donc nécessaire de recourir au calcul pour comparer les effets produits par les divers mécanismes employés jusqu'à cette époque. Il s'occupa d'abord d'étudier par cette voie le système du refoulement de l'eau sous la quille du bateau, procédé que James Rumsey avait mis en pratique dans ses expériences à Philadelphie, et plus tard à Londres. Il fut amené à conclure, mais à tort sans nul doute, que c'était le plus imparfait de tous les modes de progression nautique. Il étudia ensuite le système palmipède, qu'il trouva insuffisant pour produire la vitesse exigée. Le mécanisme qui lui parut réunir le plus d'avantages consista dans l'emploi d'une chaîne sans fin mise en action par la vapeur, et munie d'un certain nombre de palettes faisant office de rames ; c'est ce qu'il nommait des *chapelets*. C'était une manière d'employer un plus grand nombre de palettes que celui que portent les roues à aubes, et d'augmenter ainsi le nombre des rames agissant sur l'eau.

Les bords de la Seine n'offraient pas à Fulton assez de tranquillité ni de solitude pour se livrer commodément aux expériences que nécessitait l'emploi de ce nouveau moteur. Madame Barlow ayant reçu le conseil de se rendre aux eaux de Plombières, il se décida à l'accompagner, et ce fut sur la petite rivière de l'Eaugronne, qui traverse Plombières dans toute son étendue, qu'il fit l'essai, avec un petit modèle, de ses rames mises en action par une chaîne sans fin. Cependant, de retour à Paris en octobre 1802, il trouva déposé au Conservatoire des arts et métiers le modèle, que l'on y voit

encore, d'un bateau à vapeur pourvu d'un mécanisme analogue à celui qu'il venait d'expérimenter à Plombières. Ce bateau avait été construit et essayé sur la Saône par un horloger de Trévoux nommé Desblancs. Or, l'appareil de Desblancs avait complétement échoué quand on l'avait mis en pratique sur de plus grandes proportions. Heureusement renseigné par les résultats de cette expérience, Fulton abandonna ce système pour en revenir à l'emploi des roues à aubes qu'il avait proposées à lord Stanhope dès l'année 1793.

Après quelques expériences qui furent exécutées pendant l'hiver de 1802 à 1803, sur la Seine, à l'île des Cygnes, Fulton se mit à construire le grand bateau qui devait servir à juger définitivement la question pratique de la navigation par la vapeur. Les échecs répétés que l'on avait éprouvés en France et aux États-Unis tenaient à deux causes : au défaut du système moteur destiné à faire office de rames, et à l'insuffisance de la force donnée à la machine à vapeur. Par des calculs plus justes et par une appréciation plus rigoureuse des résistances à surmonter, Fulton parvint à éviter ces deux écueils ; c'est donc par le secours de la théorie judicieusement transportée dans la pratique qu'il trouva les moyens de faire réussir la grande entreprise qui avait échoué jusque-là entre les mains d'un si grand nombre d'ingénieurs distingués (1).

Le bateau de Livingston et Fulton fut terminé au commencement de l'année 1803. Tout se trouvait prêt pour

(1) Il existe, au Conservatoire des arts et métiers, une lettre assez curieuse de Fulton qui contient l'annonce et la description de la machine qu'il se proposait d'appliquer aux bateaux de rivières. Cette lettre, datée du 4 pluviôse an XI (1803), est adressée par Fulton, avec le dessin de son bateau, aux directeurs du Conservatoire, Molard, Bandel et Montgolfier, pour établir la priorité de son invention. Ce document, peu connu, établit d'une manière authentique la date des premiers travaux de Fulton.

l'essayer sur la Seine, au milieu de Paris, lorsqu'un matin, Fulton, sortant de son lit, où une anxiété et une impatience bien naturelles à la veille d'une épreuve aussi solennelle, l'avaient empêché de goûter le moindre repos, vit entrer dans sa chambre un de ses ouvriers dont les traits bouleversés annonçaient un malheur. Un grand malheur venait en effet de le frapper. Le bateau s'était trouvé trop faible pour supporter le poids de la machine à vapeur que l'on y avait installée quelques jours auparavant, et par suite de l'agitation de la rivière provenant d'une bourrasque survenue dans la nuit, il s'était rompu en deux et avait coulé à fond. Jamais homme ne ressentit un désespoir plus violent que celui qu'éprouva Fulton, en voyant ainsi s'anéantir en un clin d'œil le fruit de tant de travaux et de veilles, au moment même où il touchait au but si ardemment désiré. Cependant il n'était pas homme à se laisser longtemps abattre ; il courut à l'île des Cygnes pour essayer de réparer le désastre. Pendant vingt-quatre heures consécutives, et sans prendre ni repos, ni nourriture, il travailla de ses propres mains à retirer de la Seine la machine et les fragments submergés du bateau. La machine n'avait point souffert, mais il fallait construire un bateau nouveau. Il s'établit donc à l'île des Cygnes, et à la fin du mois de juin 1803, un bateau construit avec les soins et la solidité convenables était prêt à naviguer. Il avait 33 mètres de long sur 2 mètres et demi de large.

Le 9 août 1803, ce bateau navigua sur la Seine, en présence d'un nombre considérable de spectateurs. Fulton avait écrit la veille à l'Académie des sciences pour l'inviter à assister à l'expérience, et l'Académie avait envoyé dans ce but Bougainville, Bossut, Carnot et Perrier. Le bateau, mis en mouvement à diverses reprises, marcha contre le courant avec une vitesse de $1^m,6$ par seconde, ce qui représente près d'une lieue et demie par heure.

Un témoin oculaire a consigné dans un recueil scientifique de l'époque les détails, malheureusement incomplets, de cette expérience remarquable. Nous transcrivons ce document peu connu, le seul que nous ayons pu retrouver sur ce sujet.

« Le 21 thermidor, on a fait l'épreuve d'une invention nouvelle, dont le succès complet et brillant aura les suites les plus utiles pour le commerce et la navigation intérieure de la France. Depuis deux ou trois mois, on voyait au pied du quai de la pompe à feu, un bateau d'une apparence bizarre, puisqu'il était armé de deux grandes roues posées sur un essieu, comme pour un chariot, et que derrière ces roues était une espèce de grand poêle, avec un tuyau, que l'on disait être une petite pompe à feu destinée à mouvoir les roues et le bateau. Des malveillants avaient, il y a quelques semaines, fait couler bas cette construction. L'auteur, ayant réparé le dommage, obtint la plus flatteuse récompense de ses soins et de son talent.

« A six heures du soir, aidé seulement de trois personnes, il mit en mouvement son bateau et deux autres attachés derrière, et pendant une heure et demie, il procura aux curieux le spectacle étrange d'un bateau mû par des roues comme un chariot, ces roues armées de volants ou rames plates, mues elles-mêmes par une pompe à feu.

« En le suivant le long du quai, sa vitesse contre le courant de la Seine nous parut égale à celle d'un piéton pressé, c'est-à-dire de 2400 toises par heure: en descendant elle fut bien plus considérable. Il monta et descendit quatre fois depuis les Bons-Hommes jusque vers la pompe de Chaillot; il manœuvra à droite et à gauche avec facilité, s'établit à l'ancre, repartit et passa devant l'école de natation.

« L'un des batelets vint prendre au quai plusieurs savants et commissaires de l'Institut, parmi lesquels étaient les citoyens Bossut, Carnot, Prony, Volney, etc. Sans doute ils feront un rapport qui donnera à cette découverte tout l'éclat qu'elle mérite; car ce mécanisme, appliqué à nos rivières de Seine, de Loire et du Rhône, aurait les conséquences les plus avantageuses pour notre navigation intérieure. Les trains de bateaux qui emploient quatre mois à venir de Nantes à Paris, arriveraient exactement

en dix à quinze jours. L'auteur de cette brillante invention est M. Fulton, Américain et célèbre mécanicien (1). »

Cette expérience ne manqua pas, comme on le voit, d'exciter l'attention des hommes pratiques, mais le public s'y intéressa fort peu. La pensée suivait alors, en France, une autre direction. On était au milieu de l'enivrement causé par nos victoires militaires, et en présence des bulletins qui arrivaient chaque jour de toutes les capitales de l'Europe, on se préoccupait médiocrement des progrès de la science ou de l'industrie. Les Parisiens qui traversaient le pont de la Concorde, regardaient d'un œil indifférent le petit bateau de Fulton qui resta assez longtemps amarré sur la Seine, en face du palais Bourbon.

Cependant l'inventeur demanda au premier consul que son bateau fût soumis à un examen attentif; il désirait que l'Académie des sciences fût appelée à exprimer son avis sur sa découverte, offrant, si elle était favorablement jugée, d'en faire hommage à la France. Mais Bonaparte accueillit mal cette requête et refusa de saisir l'Académie de la question. Fulton avait fini par lui déplaire. Ses longs essais sur la guerre sous-marine restés sans résultats, ses continuelles demandes d'argent, avaient laissé une impression très-défavorable dans l'esprit du premier consul, qui portait un jugement sévère sur la conduite et les projets de cet étranger. D'après nos informations particulières, ce fut Louis Costaz, alors président du Tribunat, qui se chargea de lui soumettre la demande de Fulton. Louis Costaz avait été, pendant l'expédition d'Égypte, le compagnon du général en chef; il avait longtemps partagé sa tente, et il était resté depuis ce moment en possession de sa confiance et de son amitié. Homme éclairé, esprit pénétrant, il comprenait l'a-

(1) *Recueil polytechnique des ponts et chaussées*, t. I, p. 82, 6e cahier de l'an XI.

venir de la navigation par la vapeur, et comme il avait assisté à l'expérience de Fulton exécutée sur la Seine, il consentit sans difficulté à transmettre au premier consul les désirs de l'ingénieur américain. Mais il ne put réussir à triompher de ses préventions contre la personne de Fulton; et comme il insistait et s'efforçait de le persuader de la réalité et de l'importance de la découverte, Bonaparte l'interrompit : « Il y a, lui répondit-il, dans toutes les capitales « de l'Europe, une foule d'aventuriers et d'hommes à pro« jets qui courent le monde, offrant à tous les souverains « de prétendues découvertes qui n'existent que dans leur « imagination. Ce sont autant de charlatans ou d'impos« teurs, qui n'ont d'autre but que d'attraper de l'argent. Cet « Américain est du nombre, ne m'en parlez pas davantage. »

L'Académie des sciences de Paris n'entra donc pour rien dans le refus qu'éprouva la requête de Fulton. Elle ne fut point appelée à donner son avis sur ses travaux ; par conséquent elle ne put, comme on le répète chaque jour, qualifier d'erreur grossière et d'absurdité l'idée de la navigation par la vapeur. L'Académie comptait alors dans son sein des savants qui s'étaient particulièrement occupés de ce sujet, entre autres Constantin Perrier, qui avait exécuté l'un des premiers des expériences de ce genre : il est donc impossible qu'elle portât sur cette question le jugement ridicule qu'on n'a pas craint de lui imputer.

Le mauvais accueil que le premier consul fit à la demande de Fulton est d'autant plus difficile à comprendre, qu'il s'occupait précisément à cette époque des préparatifs de l'expédition de Boulogne, et que, tout entier à son projet de jeter inopinément une armée sur le sol de l'Angleterre, il étudiait avec la plus grande ardeur les divers moyens applicables aux rapides transports maritimes. Nous ne dirons pas, comme on l'a tant de fois avancé, que si Napoléon, prêtant une oreille favorable aux propositions de l'ingénieur améri-

cain, eût ordonné l'étude de son système de navigation, il aurait, par cela seul, assuré le succès de la grande entreprise qu'il méditait. Des faits incontestables détruisent ce raisonnement fait après coup. En premier lieu, la découverte de Fulton était encore trop récente pour pouvoir entrer immédiatement dans la pratique; son succès définitif ne fut démontré que quatre années après, dans le dernier essai qu'il fit à New-York, en 1807. En second lieu, l'art de construire les machines à vapeur ne s'était pas encore introduit dans notre pays, et l'on ne pouvait songer à improviser en France, dans l'espace de quelques mois, des usines pour ce genre de fabrication. L'Angleterre seule avait alors le privilége de fournir à l'Europe des machines à vapeur; celle que Fulton installa dans son premier bateau de New-York sortait des ateliers de Watt. Il est à croire que les Anglais n'auraient pas consenti à nous fournir des machines destinées à l'envahissement de leur pays. Enfin, et cette raison paraîtra décisive, Fulton lui-même, comme on peut s'en assurer par sa lettre aux directeurs du Conservatoire des arts et métiers, que nous rapportons dans les Notes de ce volume, ne croyait point, à cette époque, que les bateaux à vapeur pourraient un jour s'aventurer sur les mers; la navigation sur les fleuves était le seul objet qu'il eût en vue, et lorsque Louis Costaz se chargea d'entretenir le premier consul de sa requête, il ne fit aucune allusion à l'expédition de Boulogne. Disons-le cependant, le propre du génie c'est de devancer l'avenir et de deviner la portée et le développement futur d'une idée par-dessus les erreurs ou les préventions de son temps. On peut donc s'étonner que Napoléon n'ait pas embrassé d'un coup d'œil tout l'avenir de la navigation par la vapeur, et il faut conclure que dans cette grave circonstance son génie lui fit défaut. Ne mettons aucun scrupule à découvrir ces faiblesses, ces défaillances de la pensée du plus grand homme des temps modernes. Ce n'est point là rabais-

ser sa gloire. Montrer qu'il participa en quelques occasions aux conditions communes de notre nature, ce n'est rien enlever à l'admiration que nous inspirent les grands actes de sa vie où tout son génie s'est révélé (1).

(1) Nous demanderons la permission d'ouvrir ici une parenthèse un peu longue, indispensable pour la justification et la confirmation des faits qui viennent d'être racontés, concernant les rapports de Fulton avec le premier consul.

Le témoignage de Colden, biographe et ami de Fulton, ce que l'on peut recueillir aujourd'hui, de la bouche des derniers contemporains, ce qui a été écrit de nos jours, les raisonnements que l'on peut faire quand on connait l'histoire de la navigation par la vapeur, tout se réunit pour mettre au compte unique du premier consul les refus que Fulton essuya quand il proposa au gouvernement français de lui faire hommage de la découverte de la navigation par la vapeur. Un seul document a pu être opposé à cet ensemble de preuves concordantes : c'est une lettre de quelques lignes qui aurait été écrite, dit-on, à M. de Champagny, ministre de l'Intérieur, par Napoléon, de son camp de Boulogne, le 21 juillet 1804. Cette lettre serait ainsi conçue :

« Monsieur de Champagny, je viens de lire le projet du citoyen « Fulton, ingénieur, que vous m'avez adressé beaucoup trop tard, en ce « qu'il peut changer la face du monde. Quoi qu'il en soit, je désire que « vous en confiiez immédiatement l'examen à une commission composée « de membres choisis par vous dans les différentes classes de l'Institut. « C'est là que l'Europe savante doit chercher des juges pour résoudre la « question dont il s'agit. Une grande vérité, une vérité physique, palpa- « ble est devant mes yeux ; ce sera à ces messieurs de la voir et de tâ- « cher de la saisir. Aussitôt le rapport fait, il vous sera transmis et vous « me l'enverrez. Tâchez que tout cela ne soit pas l'affaire de plus de « huit jours, car je suis impatient. Sur ce, etc.

« NAPOLÉON.

« De mon camp de Boulogne, 21 juillet 1804. »

Nous connaissions cette lettre ; nous la connaissions d'autant mieux qu'elle a été publiée pour la première fois le 27 juillet 1849, par M. de Girardin, au milieu d'un *Premier-Paris* de la *Presse*, dans le cours d'une discussion toute politique. Mais nous la considérions comme entièrement apocryphe, comme fabriquée à plaisir, et c'est pour cela que, dans les diverses éditions de cet ouvrage, nous n'avions pas même voulu mentionner l'existence d'un pareil document. Mal nous a pris d'un tel dédain : voici, en effet, ce qui est arrivé.

Dans ses *Mémoires* publiés en 1857, le maréchal Marmont a été amené à parler des rapports de Fulton avec Bonaparte, et il l'a fait presque dans

Au reste, Fulton prit sans trop de peine son parti de cet échec. Au début de ses travaux, il ne s'était point proposé

les mêmes termes, et tout à fait dans le même esprit que nous-même : « En ce moment, dit M. de Raguse, Fulton, Américain, avait eu la pensée (après plusieurs personnes, qui depuis cinquante ans l'avaient imaginé sans y donner suite) et vint à proposer d'appliquer à la navigation la machine à vapeur, comme puissance motrice. La machine à vapeur, invention sublime qui donne la vie à la matière, et dont la puissance équivaut à l'existence de millions d'hommes, a déjà beaucoup changé l'état de la société, et modifiera encore puissamment tous ses rapports; mais, appliquée à la navigation, ses conséquences étaient incalculables. Bonaparte, que ses préjugés rendaient opposé aux innovations, rejeta les propositions de Fulton. Cette répugnance pour les choses nouvelles, il la devait à son éducation de l'artillerie... Mais une sage réserve n'est pas le dédain des améliorations et des perfectionnements. *Toutefois j'ai vu Fulton solliciter des expériences, demander de prouver les effets de ce qu'il appelait son invention. Le premier consul traita Fulton de charlatan et ne voulut entendre à rien. J'intervins deux fois sans pouvoir faire pénétrer le doute dans l'esprit de Bonaparte.* Il est impossible de calculer ce qui serait arrivé s'il eût consenti à se laisser éclairer... C'était le bon génie de la France qui nous envoyait Fulton. Le premier consul, sourd à sa voix, manqua ainsi sa fortune. » (Tome II, pages 210-212.)

Ce passage des *Mémoires du maréchal Marmont* confirme pleinement, comme on le voit, la vérité de nos propres informations, puisées d'ailleurs à une tout autre source. Mais ce n'est pas là que nous voulons en venir.

M. Rapetti, aujourd'hui bibliothécaire du palais du Luxembourg, a fait paraître dans le *Moniteur*, sur les *Mémoires du maréchal Marmont*, plusieurs articles, qui ont été plus tard réunis en volume. Arrivé au récit de M. de Raguse, reproduit plus haut, il s'élève fortement contre l'opinion développée dans ce récit, et il triomphe de pouvoir citer, comme preuve écrasante, la lettre à M. de Champagny. Après s'être efforcé d'établir, sans s'appuyer sur aucune autre base historique que cette pièce, que Bonaparte avait parfaitement compris la portée de la découverte de Fulton, et que l'Institut fut seul coupable dans cette circonstance, M. Rapetti ajoute :

« Nous avons cherché à nous éclairer sur cette question historique dans un ouvrage récent, accueilli avec beaucoup de faveur par le public, l'*Exposition et Histoire des principales découvertes scientifiques modernes*, par M. Louis Figuier. Mais dans cet ouvrage, dont nous avons sous les yeux la quatrième édition, nous n'avons rien trouvé qu'un récit suivant les rites académiques, et tout à fait favorable à la gloire de l'Institut : « L'Académie des sciences de Paris, dit M. Figuier, n'entra pour rien dans le refus qu'éprouva la requête de Fulton. Elle ne fut point appelée à donner son avis sur ses travaux ; par conséquent elle ne put, comme on le répète chaque jour, qualifier d'erreur grossière et d'absurdité

d'intéresser la France à sa découverte, car il n'avait entrepris ses recherches qu'avec le projet d'en appliquer les résul-

l'idée de la navigation par la vapeur. L'Académie comptait alors dans son sein des savants qui s'étaient particulièrement occupés de ce sujet, entre autres Constantin Perrier, qui avait exécuté l'un des premiers des expériences de ce genre (il n'en faut pas tant pour décider une commission académique contre un savant étranger). Il était donc impossible (c'est M. Figuier qui reprend la parole) qu'elle portât sur cette question le *jugement ridicule qu'on n'a pas craint de lui imputer.* » M. Figuier fait mieux que d'innocenter l'Institut dans cette affaire; il rend le premier consul *seul* responsable du rejet de l'invention de Fulton ; et il lui prête même à ce sujet un petit discours dont nous voudrions bien connaître la source authentique ; mais nous craignons que cette source ne se cache dans les documents fort problématiques où M. Figuier a découvert que *l'Académie des sciences de Paris n'entra pour rien dans le refus qu'éprouva la requête de Fulton* (*). »

Puisque M. Rapetti tient à savoir à quelle source nous avons puisé nos renseignements concernant les rapports de Louis Costaz avec Fulton et Bonaparte, nous dirons que nous les tenons du frère de Louis Costaz, d'Anthelme Costaz, ancien directeur au ministère des travaux publics, auteur d'une excellente *Histoire de l'administration en France.* Interrogé par nous, en 1851, sur ce point important, M. Anthelme Costaz nous transmit ces détails, qui lui avaient été plus de cent fois racontés par son frère Louis ; et c'est sous sa dictée que nous écrivîmes ce que M. Rapetti appelle « le petit discours » que nous faisons tenir à Bonaparte. M. Anthelme Costaz est mort en 1858 ; mais un de ses frères vit encore, et il pourra confirmer la vérité de ce qui précède.

Abordons maintenant un autre point.

Nous mettons M. Rapetti au défi de produire cette lettre. Si elle existe, on peut en montrer l'original, on doit dire où et à quelle époque on l'a trouvée, et on doit l'imprimer dans la *Correspondance de Napoléon Ier*, qui se publie sous la direction de M. Rapetti lui-même. Or, elle ne figure pas dans ce magnifique et authentique monument des pensées et des travaux de l'Empereur.

Nous pourrions nous borner à une mise en demeure si catégorique, mais nous nous donnerons le plaisir d'argumenter contre le prétendu document qu'on nous oppose.

Le plus court examen prouve que cette lettre est apocryphe, qu'elle a été fabriquée à plaisir, on ne sait trop dans quelle intention, et d'ailleurs très-maladroitement fabriquée.

Et d'abord, M. de Champagny, le ministre de l'Intérieur à qui Bonaparte est censé écrire, n'était pas ministre en 1804. Premier non-sens de ce prétendu document.

(*) *Moniteur* du 17 février 1857.

tats aux États-Unis. Il s'occupa donc de prendre les dispositions nécessaires pour établir en Amérique le système de

Mais voyons les termes mêmes de cet écrit : « Je viens de lire le projet du *citoyen* Fulton. » Ce mot de *citoyen*, qui jure dans la bouche du nouvel empereur, ne s'employait plus depuis longtemps déjà, en 1804, dans les correspondances officielles. « Que vous m'avez adressé beaucoup trop tard, *en ce qu'il peut changer la face du monde.* » — Napoléon, qui avait toujours refusé de prendre Fulton au sérieux, ne pouvait concevoir d'emblée une si haute opinion de sa découverte, ni surtout l'exprimer en si mauvais français. « Je désire que vous en confiiez immédiatement l'examen à une commission de membres choisis par vous *dans les différentes classes de l'Institut.* » — Dans les différentes classes de l'Institut ! Ainsi, des littérateurs, des érudits, des historiens, des musiciens, des peintres, des sculpteurs, auraient dû entrer dans une commission chargée d'étudier une invention mécanique ! Cela n'a pas de sens. L'auteur aurait dû dire dans *la classe des sciences de l'Institut.* Membre de l'Institut, lui-même, Bonaparte, n'aurait pas fait une telle faute. « C'est là que l'Europe savante doit aller chercher des juges pour résoudre la question dont il s'agit. » — Galimatias inintelligible : Napoléon savait toujours ce qu'il écrivait. « Une grande vérité, une vérité physique, palpable, est devant mes yeux. » — Quel besoin alors d'une commission académique? Il suffisait d'adresser Fulton au ministre de la marine, avec ordre de mettre ses chantiers à sa disposition. L'expérience du bateau de Fulton avait été déjà faite en plein Paris; plusieurs membres de l'Académie des sciences avaient assisté à l'essai public de ce bateau, cela pouvait suffire à la rigueur. « Ce sera à ces *messieurs* de la *voir* et de *tâcher de la saisir.* » — Quelle pensée et quel style : *voir et tâcher de saisir* cette vérité palpable qui est devant ses propres yeux ! Et quelle injure pour Napoléon que de lui attribuer un si mauvais style et de si lourds pléonasmes! « Aussitôt le rapport fait, il vous sera transmis et vous me l'enverrez. *Tâchez que tout cela ne soit pas l'affaire de plus de huit jours,* car je suis impatient. » Quoi ! huit jours seulement pour que le ministre de l'Intérieur communique cet ordre à la *classe des sciences* de l'Institut, pour que cette classe nomme une commission, examine la machine à vapeur de Fulton, se livre avec lui aux expériences indispensables pour former son jugement, qu'elle tire de ces expériences des conclusions précises, qu'elle rédige son rapport, que ce rapport soit lu à la classe des sciences, et approuvé par elle, puis adressé au ministre, qui le transmettra à l'Empereur. Huit jours pour tout cela! Napoléon savait bien que les choses ne pouvaient se faire avec une telle promptitude, mais l'ignorant auteur de cette pièce a bien pu s'y tromper.

Cette lettre n'est donc qu'un tissu d'absurdités et d'inepties ; et ce ne serait pas faire honneur à la mémoire de l'Empereur, que de jeter un si lourd pavé à la tête de ce grand homme. Si, dans les éditions antérieures de cet ouvrage, nous n'avions pas voulu mentionner l'existence

transports dont l'expérience venait de lui démontrer la valeur.

Livingston adressa une lettre aux membres de la législature de l'État de New-York, pour faire connaître les résultats qui venaient d'être obtenus à Paris. La législature dressa alors un acte public, aux termes duquel le privilége exclusif de naviguer sur toutes les eaux de cet État au moyen de la vapeur, concédé à Livingston par le traité de 1797, était prolongé en faveur de Livingston et de Fulton, pour un espace de vingt ans à partir de l'année 1803. On imposait seulement aux associés la condition de produire, dans l'espace de deux ans, un bateau à vapeur faisant quatre milles (7 kilomètres 400 mètres) à l'heure contre le courant ordinaire de l'Hudson. Dès la réception de cet acte, Livingston écrivit en Angleterre, à Boulton et à Watt, pour commander une machine à vapeur dont il donna les plans et la dimension sans spécifier à quel objet il la destinait. On s'occupa aussitôt de construire cette machine dans les ateliers de Soho, et Fulton, qui peu de temps après se rendit en Angleterre, put en surveiller l'exécution.

Fulton se trouvait, en effet, sur le point de quitter la France. Son séjour à Paris, les expériences auxquelles il continuait de se livrer sur le bateau plongeur et ses divers appareils d'attaque sous-marine, excitaient à Londres la plus vive sollicitude. On s'effrayait à l'idée de voir diriger contre la marine britannique les terribles agents de destruction que Fulton s'appliquait à perfectionner. Lord Stanhope en parla avec anxiété dans la chambre des pairs; à la suite de cette communication, il se forma à Londres une associa-

de cette pièce, c'est qu'elle nous semblait indigne de toute discussion. La controverse que M. Rapetti n'a pas craint d'établir sur ce sujet, l'a rendue nécessaire. Notre admiration pour le génie de Napoléon Ier ne le cède certainement pas à celle qu'éprouve le bibliothécaire du Luxembourg; mais il faut du discernement dans l'enthousiasme, et savoir préférer la vérité à l'Empereur.

tion de riches particuliers, qui se donnèrent pour mission de surveiller les travaux de Fulton. Cette association adressa, quelques mois après, un long rapport au premier ministre, lord Sydmouth ; les faits qu'il contenait engagèrent ce ministre à attirer l'inventeur en Angleterre, afin de paralyser, s'il était possible, les effets funestes que l'on redoutait de l'application de ses travaux. On dépêcha de Londres un agent secret qui se mit en rapport avec Fulton et lui parla d'une récompense de 15 000 dollars en cas de succès. Fulton se laissa prendre à l'appât de cette offre avantageuse, et se décida à quitter Paris. Il partit pour l'Angleterre en 1804.

Il se trompait cependant sur les vues du gouvernement britannique. On ne pouvait nullement s'intéresser, en Angleterre, au succès d'un genre d'inventions destiné, s'il pouvait réussir, à annuler toute suprématie maritime. Le but du ministère anglais était donc simplement de juger d'une manière positive la valeur des inventions de Fulton, et de lui en acheter le secret pour l'anéantir. C'est ce qu'il finit par comprendre aux délais, aux obstacles, à la mauvaise volonté qu'il rencontra partout en Angleterre. La commission nommée pour examiner son bateau plongeur, en déclara l'usage impraticable. Quant à ses appareils d'explosion sous-marine, on exigea qu'il en démontrât l'efficacité en les dirigeant contre des embarcations ennemies. De nombreuses expéditions s'exécutaient à cette époque contre la flottille française et les bateaux plats enfermés dans la rade de Boulogne. Le 1er octobre 1805, Fulton s'embarqua sur un navire anglais et vint joindre l'escadre en station devant ce port ; peut-être n'était-il pas fâché d'essayer contre nous les machines maritimes dont nous avions dédaigné l'usage. A la faveur de la nuit, il lança deux canots munis de torpilles contre deux canonnières françaises, mais l'explosion des torpilles ne fit aucun mal à ces embarcations. Seulement, au bruit de la détonation, les matelots

français se crurent abordés par un vaisseau ennemi ; mais, voyant que l'affaire en restait là, ils rentrèrent dans le port sans pouvoir se rendre compte des moyens que l'on avait employés pour opérer cette attaque au milieu de l'obscurité de la nuit. Fulton se plaignit hautement que l'échec qu'il venait d'éprouver avait été concerté par les Anglais eux-mêmes, et il demanda à en fournir la preuve. Le 15 octobre 1805, en présence du ministre Pitt et de ses collègues, il fit sauter, à l'aide de ses torpilles, un vieux brick danois du port de 200 tonneaux, amarré, à cet effet, dans la rade de Walmer, près de Deal, à une petite distance du château de Walmer, résidence de Pitt. La torpille contenait 170 livres de poudre; un quart d'heure après que l'on eut fixé le harpon, la charge éclata et partagea en deux le brick, dont il ne resta au bout d'une minute que quelques fragments flottant à la surface des eaux.

Malgré ce succès, ou peut-être à cause de ce succès, le ministère anglais refusa de s'occuper davantage des inventions de Fulton ; on lui offrit seulement d'en acheter le secret à condition qu'il s'engagerait à ne jamais les mettre en pratique. Mais l'ingénieur américain repoussa bien loin cette proposition : « Quels que soient vos desseins, répondit-« il aux agents du gouvernement chargés de lui faire cette « ouverture, sachez que je ne consentirai jamais à anéantir « une découverte qui peut devenir utile à ma patrie. »

Cependant, tout en s'occupant de ses inventions sous-marines, Fulton ne perdait pas de vue, pendant son séjour en Angleterre, le projet de son associé Livingston, relatif à l'établissement de la navigation par la vapeur aux États-Unis. Livingston, comme nous l'avons dit, avait commandé à l'usine de Boulton et Watt, à Soho, une machine à vapeur sans spécifier l'objet auquel elle serait consacrée. Fulton s'occupa avec ardeur de la construction de l'appareil de navigation,

qui devait servir à tenter dans le nouveau monde une entreprise qui avait déjà échoué dans un si grand nombre de pays. Il s'inspira heureusement pour le modèle de l'appareil moteur de son bateau, des essais qui venaient d'être tentés en Écosse par William Symington pour établir sur les canaux la navigation par la vapeur, essais qui n'étaient que la suite et le développement des expériences que Symington avait exécutées douze années auparavant, de concert avec Patrick Miller et James Taylor, et que nous avons racontées avec détail dans la première partie de cette notice.

On se rappelle, que sur le refus de Patrick Miller de continuer à s'occuper de la navigation par la vapeur, Symington avait dû renoncer à cette question. Il y fut ramené douze ans après, c'est-à-dire en 1801, par le désir de lord Dundas, l'un des principaux propriétaires du canal de Forth et Clyde. Lord Dundas connaissait les tentatives faites par Taylor et Symington en 1789, à Dalswinton. Il chargea Symington de les reprendre, afin de parvenir à remplacer par la force de la vapeur les chevaux employés sur les bords du canal au travail du halage. Les expériences de Symington embrassèrent tout l'intervalle depuis janvier 1801 jusqu'en avril 1803; elles coûtèrent à lord Dundas des sommes considérables, car les dépenses s'élevèrent à 70 000 livres sterling (1 750 000 francs). Mais ni le temps ni les dépenses ne furent perdus, car Symington parvint à créer pour la navigation sur les canaux une machine à vapeur de dispositions excellentes.

Le bateau construit par William Symington reçut le nom de *Charlotte Dundas*, du nom de la fille de Sa Seigneurie, depuis lady Milton. Sa machine à vapeur, fort peu différente de celles d'aujourd'hui, était à double effet et composée de deux cylindres dont les tiges, venant agir sur un axe commun, faisaient tourner une roue à aubes unique, et placée à la partie antérieure du bateau. D'après la figure donnée par M. Woodcroft de cet important appareil, la chaudière, placée

au milieu du bateau et faisant saillie sur le pont, envoyait sa vapeur dans deux cylindres placés à droite et à gauche et un peu au-dessous de la chaudière. Ces cylindres étaient couchés horizontalement ; le piston de chacun d'eux venait agir alternativement sur l'un des rayons de la roue motrice du bateau. Le mode d'application de la force était donc le même que celui qui est employé aujourd'hui pour les roues des locomotives. La machine à vapeur était à condenseur et à double effet.

Au mois de mars 1802, William Symington prit dans ce bateau lord Dundas, George Dundas, son parent, officier de la marine royale, sir Archibald et plusieurs autres gentlemen. A ce bateau, on en attacha deux autres du poids de 70 tonnes chacun, *l'Actif* et *le Phénix*, et partant du port Dundas, Symington conduisit cet équipage, dans un intervalle de six heures, à Glascow, distant de 20 milles, ce qui représentait une vitesse de 3 milles et quart par heure, bien que pendant tout ce voyage on eût à lutter contre un fort vent debout qui se maintint continuellement et empêchait la navigation des autres embarcations du canal.

Cet essai dut paraître décisif aux propriétaires du canal de Forth et Clyde, et lord Dundas le jugea ainsi. Cependant, quand la proposition leur fut adressée d'adopter les machines à vapeur comme moyen de traction, les propriétaires redoutèrent que l'agitation des eaux produite par le mouvement de la machine à vapeur n'endommageât les bords du canal, et n'amenât la nécessité de réparations continuelles, ce qui aurait entraîné en définitive, par l'adoption de la vapeur, plus de pertes que de profit.

Symington avait pourtant lieu d'espérer une solution plus favorable à ses intérêts, car lord Dundas, converti à son opinion, s'occupait activement de la faire prévaloir. Ce dernier se rendit auprès du duc de Bridgewater, créateur et propriétaire principal du canal de Forth et Clyde, et décida Sa Sei-

gneurie à entreprendre l'essai du nouveau système. Persuadé à son tour, le duc de Bridgewater commanda à Symington huit bateaux construits sur le modèle de la *Charlotte Dundas*, et destinés à faire le service du canal. Symington partit aussitôt pour l'Écosse afin de s'occuper de la construction de ces bateaux, heureux de la perspective brillante qui s'offrait à lui.

Mais une triste déception l'attendait. A peine arrivé à Edimbourg, il reçut à la fois la nouvelle de la mort du duc de Bridgewater et la notification de la résolution définitive prise par l'assemblée des propriétaires du canal, de renoncer à tout emploi de la vapeur comme moyen de traction.

Incapable de lutter contre de tels obstacles, Symington fut contraint de renoncer pour jamais à son projet favori. La *Charlotte Dundas* fut donc reléguée sur le canal près du pont tournant de Braindfort, où elle demeura pendant des années entières, tristement abandonnée aux regards des passants et des curieux (1).

D'après les écrivains anglais, c'est dans les circonstances

(1) William Symington obtint en 1825, sur la cassette du roi, une somme de 100 livres sterling, et un an après une somme de 50 livres, comme récompense de ses travaux sur la navigation par la vapeur. Il avait inutilement demandé une pension au gouvernement. Dénué de ressources, il fut soutenu pendant les dernières années de sa vie par quelques amis, en particulier par lord Dundas, et les propriétaires du *bateau à vapeur de Londres*.

James Taylor, qui était l'un des premiers entré dans la même voie, mourut sans avoir ressenti les effets de la reconnaissance de son pays. Seulement, à sa mort, sa veuve obtint une pension viagère de 50 livres sterling, accordée par lord Liverpool. En 1837, chacune des filles de Taylor reçut une dot de 50 livres sterling par le crédit de lord Melbourne.

Quant à Patrick Miller, qui pouvait aussi faire valoir ses droits comme coopérateur dans l'œuvre de la navigation par la vapeur, il ne réclama jamais aucune récompense. Sa fortune, qui lui avait permis de consacrer plus de 30,000 livres sterling à la recherche d'inventions utiles à la marine, lui permit aussi de se dispenser de toute sollicitation auprès du gouvernement de son pays.

que nous venons de rappeler que Fulton prit une connaissance détaillée de ce bateau, et s'inspira avec profit de l'examen de sa machine à vapeur. Ces écrivains ne s'accordent pas sur la date précise de la visite faite par Fulton à la *Charlotte Dundas*. On ne peut cependant mettre le fait en doute d'après les témoignages qui ont été produits à cette occasion. Dans son ouvrage sur la *Navigation par la vapeur* (*On Steam Navigation*), M. Bovie rapporte à ce propos un document de la plus grande importance : c'est la déposition du chauffeur de la machine qui assistait à cette visite de Fulton, faite en juillet 1801 (1). Voici le texte de cette pièce :

« Il arriva un jour, en juillet 1801, pendant que Symington faisait ses expériences pour lord Dundas, qu'un étranger se présenta à bord du canal et demanda à visiter le bateau. Cet étranger se nommait Fulton ; il s'annonçait comme de l'Amérique du Nord, pays vers lequel il allait bientôt retourner. Il dit qu'ayant entendu parler des expériences de notre bateau à vapeur, il n'avait pas voulu quitter l'Ecosse sans faire une visite à Symington, espérant obtenir l'autorisation de visiter sa machine, et de recueillir quelques renseignements sur les principes de sa construction. Fulton fit observer que quelle que fût l'utilité de la navigation par la vapeur pour la Grande-Bretagne, son importance serait bien supérieure encore pour l'Amérique du Nord, en raison du grand nombre de lacs et de rivières navigables que l'on y trouve, de l'abondance de bois de construction et du bas prix du combustible. Il crut devoir dire, en outre, que si M. Symington pouvait faire construire en Amérique de semblables vaisseaux, ou seulement en autoriser la construction, il se chargerait de cette mission. M. Symington, cédant aux désirs et à l'insistance de l'étranger, fit allumer le fourneau et mettre le bateau en mouvement. Plusieurs personnes montèrent dans le bateau avec M. Fulton, et furent transportées depuis le loch n° 16 jusqu'à environ 4 milles à l'ouest, et le bateau revint à son

(1) Nous ferons remarquer que cette date de 1801 prêterait beaucoup à la discussion, car Fulton se trouvait en France à cette époque et ne partit qu'en 1804 pour l'Angleterre. Aurait-il fait expressément le voyage ? C'est ce qu'il faut admettre pour la créance entière de ce document.

point de départ dans l'espace d'une heure vingt minutes, ce qui correspond à une vitesse de 6 milles à l'heure, à la grande surprise de M. Fulton et des autres personnes présentes.

« M. Fulton demanda et obtint la permission de prendre des notes et une esquisse de la forme, des dimensions et du mode de construction du bateau, qui lui furent communiqués par M. Symington. »

Le même auteur cite encore le témoignage de deux des spectateurs du même fait, Robert Dundas et Robert Weir, qui assistaient à la visite de Fulton, et confirment par une déposition analogue l'exactitude des assertions qui précèdent (1).

Nous ne mettons pas en doute cette visite de Fulton à la *Charlotte Dundas*, ni les utiles renseignements que l'ingénieur américain dut retirer de l'examen de l'appareil moteur de ce bateau. Le *Clermont* que Fulton construisit en Amérique pour la réalisation définitive de la navigation par la vapeur était le fruit de l'étude approfondie à laquelle il avait dû soumettre tout ce qu'il lui avait été donné d'examiner, en Amérique et en Europe, sur ce nouveau mode de constructions maritimes. Bien que l'appareil moteur du *Clermont* différât de celui de la *Charlotte Dundas*, car le bateau américain avait deux roues motrices, tandis que le bateau de Symington n'en avait qu'une seule placée à l'avant, on ne peut contester que Fulton n'ait profité de tout ce qui avait été fait avant lui dans la même direction. C'était là d'ailleurs la seule manière d'atteindre le but qu'il se proposait : il devait faire un choix éclairé entre toutes les idées qui s'étaient produites avant ses propres travaux. Tel est le droit et souvent l'unique mérite de l'inventeur. Nous ne ferons donc pas, à l'exemple des écrivains anglais, jaloux de la gloire de l'ingénieur américain, un reproche à Fulton de sa visite à la

(1) Ces pièces sont reproduites dans l'ouvrage de M. Woodcroft, pages 64-67.

Charlotte Dundas, nous n'y verrons point matière à une accusation de plagiat, mais seulement un fait très-naturel. Si Fulton emprunta quelque chose à l'ingénieur écossais, il faut convenir qu'il dépassa singulièrement son modèle et le fit bien vite oublier.

Quoi qu'il en soit, la machine à vapeur commandée par Livingston et Fulton, en 1804, à l'usine de Boulton et Watt, ne fut terminée qu'au mois d'octobre 1806. A cette date, Fulton s'embarqua à Falmouth pour revenir en Amérique. Il arriva le 13 décembre à New-York. A la même époque la machine à vapeur était expédiée de l'usine de Soho à New-York, où elle fut rendue en même temps que Fulton. Quelques ouvriers de l'usine de Soho accompagnaient la machine, pour en assembler les pièces et l'installer sur le bateau qui devait la recevoir.

CHAPITRE IV

Premier bateau à vapeur construit par Fulton en Amérique. — Premier voyage du *Clermont*. — Progrès de la marine à vapeur aux États-Unis. — Mort de Fulton.

Dès son arrivée à New-York, Fulton s'occupa, de concert avec son associé Livingston, de faire construire le bateau qui devait leur assurer le privilége promis par la chambre des États-Unis. Ce bateau fut baptisé *le Clermont*, nom d'une maison de campagne que Livingston possédait sur les rives de l'Hudson.

Le *Clermont*, qui fut construit à New-York, dans les chantiers de Charles Brown, avait 50 mètres de long sur 5 de large, et jaugeait 150 tonneaux. Le diamètre de ses roues à aubes était de 5 mètres ; c'était, comme on le voit, une

puissante embarcation de rivière. Sa machine à vapeur était de la force de 18 chevaux. Elle était à double effet et à condenseur. Le piston avait vingt-quatre pouces anglais de diamètre et quatre pieds de course. La chaudière avait vingt pieds de longueur, sept pieds de profondeur et huit de largeur. Le *Clermont* était muni de deux roues de fonte placées de chaque côté du bateau. Les aubes de chaque roue avaient quatre pieds de longueur et plongeaient à deux pieds dans l'eau. Le balancier de la machine à vapeur, transmettant son mouvement à l'axe commun de ces deux roues, était placé à la partie inférieure du bâti de la machine, comme on le fait encore pour les machines de navigation pourvues du système de Watt. En un mot, l'appareil mécanique du *Clermont* montrait réalisées la plupart des dispositions qui ont été employées plus tard pour les machines de navigation fluviale, et cette considération suffit bien pour montrer toute la valeur de l'œuvre accomplie par l'ingénieur américain. Fulton profita sans doute de toutes les idées émises avant lui ; mais il sut en composer un ensemble harmonieux qui avait, on peut le dire, tout le mérite d'une création originale.

Cependant la belle entreprise de Fulton, qui avait été si mal appréciée en Europe, n'était pas accueillie dans son pays avec plus de faveur. Toute la ville de New-York condamnait ouvertement une tentative si hardie, et blâmait les proportions considérables de son navire. Il n'y avait pas dix personnes croyant à son succès, et l'on ne désignait son bateau que sous le nom de *la Folie-Fulton*. Comme les dépenses de construction avaient excédé de beaucoup leurs calculs, Livinsgton et Fulton proposèrent de céder le tiers de leurs droits à ceux qui voudraient entrer pour une part proportionnelle dans les dépenses : personne ne profita de cette offre qui fut regardée comme l'aveu secret d'une prochaine défaite.

Au mois d'août 1807, le *Clermont* était terminé; il sortit, le 10 de ce mois, des chantiers de Charles Brown, et le lendemain, à l'heure fixée pour son essai public, il fut lancé sur la rivière de l'Est. Fulton monta sur le pont de son bateau au milieu des rires et des stupides huées d'une multitude ignorante. Mais les sentiments de la foule ne tardèrent pas à changer, et au signal du départ, lorsque le bateau se mit en marche, des acclamations d'enthousiasme vinrent venger l'illustre ingénieur des indignes outrages qu'il venait de recevoir. Le triomphe qu'il éprouva dans ce moment dut le consoler des critiques, des dégoûts, des obstacles de tout genre qu'il avait rencontrés dans l'exécution de sa glorieuse entreprise.

« Rien ne saurait surpasser, dit Colden, son biographe et son ami, la surprise et l'admiration de tous ceux qui furent témoins de cette expérience. Les plus incrédules changèrent de façon de penser en peu de minutes, et furent totalement convertis, avant que le bateau eût fait un quart de mille. Tel qui, à la vue de cette coûteuse embarcation, avait remercié le ciel d'avoir été assez sage pour ne pas dépenser son argent à poursuivre un projet si fou, montrait une physionomie différente à mesure que le *Clermont* s'éloignait du quai et accélérait sa course; un sourire d'approbation était sensiblement remplacé par une vive expression d'étonnement. Quelques hommes dépourvus de toute instruction et de tout sentiment des convenances, qui essayaient de lancer encore de grossières plaisanteries, finirent par tomber dans un abattement stupide, et ce triomphe du génie arracha à la multitude des acclamations et des applaudissements immodérés (1). »

Fulton, qui était demeuré insensible aux marques de mépris de ses compatriotes, ne se laissait pas détourner dans ce moment par les témoignages de leur admiration. Il était tout entier à l'observation de son bateau, afin de reconnaître

(1) *The life of Robert Fulton*, by his friend C.-N. Colden. New-York, 1817, p. 168.

ses défauts et les moyens de les corriger. Il s'aperçut ainsi que les roues avaient un trop grand diamètre et que les aubes s'enfonçaient trop dans l'eau. Il modifia leurs dispositions, et obtint un accroissement de vitesse.

Cette réparation, qui dura quelques jours, étant terminée, Livingston et Fulton firent annoncer par les journaux que leur bateau, destiné à établir un transport régulier de New-York à Albany, partirait le lendemain pour cette dernière ville. Cette annonce causa beaucoup de surprise à New-York. Bien que tout le monde eût été témoin de l'essai sans réplique exécuté peu de jours auparavant, on ne pouvait croire encore à la possibilité d'appliquer un bateau à vapeur à un service de transports. Aucun passager ne se présenta, et Fulton dut faire le voyage seul avec les quelques hommes employés à bord.

La traversée de New-York à Albany ne laissa aucun doute sur les avantages de la navigation par la vapeur. New-York et Albany, situés tous les deux sur les bords de l'Hudson, sont distants d'environ 60 lieues. Le *Clermont* fit la traversée en trente-deux heures et revint en trente heures. Il marcha le jour et la nuit, ayant constamment le vent contraire, et ne pouvant se servir une seule fois des voiles dont il était muni. Parti de New-York le lundi, à une heure de l'après-midi, il était arrivé le lendemain à la même heure à Clermont, maison de campagne du chancelier Livingston, située sur les bords du fleuve. Reparti de Clermont le mercredi à neuf heures du matin, il touchait à Albany à cinq heures de l'après-midi. Le trajet avait donc été accompli en trente-deux heures, ce qui donne une vitesse de deux lieues par heure : ainsi la condition imposée par l'acte du Congrès avait été remplie.

Pendant son voyage nocturne, le *Clermont* répandit la terreur sur les bords solitaires de l'Hudson. Les journaux américains publièrent beaucoup de récits de sa première

traversée; ces relations étaient sans doute empreintes de quelque exagération, elles se rapportent cependant à des sentiments trop naturels pour pouvoir être contestées. On se servait, sur le bateau de Fulton, pour alimenter la chaudière, de branches de pin ramassées sur les rives du fleuve, et la combustion de ce bois résineux produisait une fumée abondante et à demi embrasée qui s'élevait de plusieurs pieds au-dessus de la cheminée du bateau. Cette lumière inaccoutumée, brillant sur les eaux au milieu de la nuit, attirait de loin les regards des marins qui naviguaient sur le fleuve; on voyait avec surprise marcher contre le vent, les courants et la marée, cette longue colonne de feu étincelant dans les airs. Lorsque les marins étaient assez rapprochés pour entendre le bruit de la machine et le choc des roues qui frappaient l'eau à coups redoublés, ils étaient saisis de la plus vive terreur; les uns, laissant aller leur vaisseau à la dérive, se précipitaient à fond de cale pour échapper à cette effrayante apparition, tandis que d'autres se prosternaient sur le pont, implorant la Providence contre l'horrible monstre qui s'avançait en dévorant l'espace et vomissant le feu.

Nous avons dit qu'aucun passager n'avait osé accompagner Fulton dans son voyage de New-York à Albany. Il s'en présenta un pour le retour : c'était un habitant de New-York. Il osa tenter l'aventure et eut le courage de revenir chez lui sur le *Clermont,* qui allait redescendre le fleuve.

On raconte qu'étant entré dans le bateau pour y régler le prix de son passage, l'habitant de New-York n'y trouva qu'un homme occupé à écrire dans la cabine : c'était Fulton.

« N'allez-vous pas, lui dit-il, redescendre à New-York avec votre bateau?

— Oui, répondit Fulton, je vais essayer d'y parvenir.

— Pouvez-vous me donner passage à votre bord?

— Assurément, si vous êtes décidé à courir les mêmes chances que nous. »

L'habitant de New-York demanda alors le prix du passage, et six dollars furent comptés pour ce prix.

Fulton demeurait immobile et silencieux, contemplant, comme absorbé dans ses pensées, l'argent déposé dans sa main. Le passager craignit d'avoir commis quelque méprise.

« Mais n'est-ce pas là ce que vous m'avez demandé ? »

A ces mots, Fulton, sortant de sa rêverie, porta ses regards sur l'étranger, et laissa voir une grosse larme roulant dans ses yeux :

« Excusez-moi, dit-il d'une voix altérée, je songeais que ces six dollars sont le premier salaire qu'aient encore obtenu mes longs travaux sur la navigation par la vapeur. Je voudrais bien, ajouta-t-il en prenant la main du passager, consacrer le souvenir de ce moment en vous priant de partager avec moi une bouteille de vin, mais je suis trop pauvre pour vous l'offrir. J'espère cependant être en état de me dédommager la première fois que nous nous rencontrerons. »

Ils se rencontrèrent en effet quatre ans après, et cette fois le vin ne manqua pas pour célébrer un touchant souvenir.

Fulton fit connaître au public le succès de sa belle entreprise par une note d'une remarquable simplicité, adressée par lui aux journaux de New-York. Elle était conçue en ces termes :

« A l'Éditeur du *Citoyen américain*.

« Monsieur,

« Je suis arrivé cette après-midi à quatre heures sur mon bateau à vapeur parti d'Albany. Comme le succès de mes expériences me fait espérer que de semblables bateaux sont appelés à prendre une grande importance dans mon pays, afin de prévenir toute opinion erronée et donner aux amis des inventions utiles la satisfaction qu'ils désiraient, je vous prie de vouloir bien donner de la publicité aux résultats suivants :

« J'ai quitté New-York lundi à une heure, et suis arrivé à une heure le lendemain mardi, c'est-à-dire en vingt-quatre heures,

à *Clermont*, habitation du chancelier Livingston : distance, 110 milles. J'ai quitté *Clermont* le mercredi à neuf heures du matin, et je suis arrivé à Albany à cinq heures de l'après-midi : temps, huit heures ; distance, 40 milles, c'est-à-dire avec la vitesse de 5 milles à l'heure.

« Robert Fulton. »

Après ce premier voyage, le *Clermont* fut immédiatement consacré à un service régulier de New-York à Albany. Comme il se trouva bientôt encombré de passagers, on augmenta sa longueur de plusieurs mètres, et dès le commencement de l'année 1808, le *Clermont* faisait un service quotidien sur l'Hudson de New-York à Albany, avec une vitesse constante de 5 milles à l'heure. Ce fut le premier bateau à vapeur qui indemnisa ses propriétaires des dépenses occasionnées pour sa construction.

Ce ne fut pas néanmoins sans difficultés que ce nouveau système de navigation parvint à s'établir sur l'Hudson. On prétendait qu'il serait préjudiciable aux intérêts du pays en nuisant au développement des constructions navales, et les bâtiments à voiles qui naviguaient sur l'Hudson endommagèrent souvent le *Clermont*, en le heurtant ou l'accostant volontairement avec l'intention de le couler. La législature de l'État de New-York fut obligée, pour mettre un terme à ces atteintes, de les considérer comme des offenses publiques punissables d'emprisonnement et d'amende.

Malgré les obstacles inévitables que rencontre toute invention nouvelle quand elle surgit au milieu d'intérêts contraires depuis longtemps établis, l'entreprise de Livingston et de Fulton acquit rapidement un haut degré de prospérité. Le 11 février 1809, Fulton obtint du gouvernement américain un brevet qui lui assurait le privilége de ses découvertes concernant la navigation par la vapeur. Pendant l'année 1811, il construisit quatre magnifiques bateaux : le plus grand, qui prit le nom de *Chancelier Livinsgton*, était du

port de 326 tonneaux ; il était destiné au service de New-York à Albany. En 1812, il établit deux bateaux-bacs mus par la vapeur, pour traverser l'Hudson et la rivière de l'Est. Fulton construisit en même temps divers autres bateaux pour le compte de quelques compagnies auxquelles il cédait les droits concédés dans son privilége. C'est ainsi que la navigation par la vapeur put s'établir en quelques années sur les diverses branches du Mississipi et de l'Ohio.

La création, aux États-Unis, de la marine à vapeur, était l'événement le plus considérable qui se fût accompli depuis la guerre de l'indépendance. Les travaux de Fulton imprimèrent une activité nouvelle au génie américain. Les divers États virent bientôt se resserrer les liens qui les unissaient. Sur les bords de plusieurs fleuves, déserts jusqu'à cette époque, des nations entières allèrent s'établir pour y défricher les terres et y fonder des villes. Les bateaux à vapeur portèrent ainsi la vie et le mouvement du commerce sur une foule de points où l'on comptait à peine quelques habitations disséminées : il est reconnu que la culture des districts de l'Ohio, du Missouri, de l'Illinois et d'Indiana fut, par cette invention, avancée de plus d'un siècle.

Terminons par quelques mots ce qui intéresse la vie de l'ingénieur illustre à qui nous devons cette découverte importante. Jusqu'en 1815, Fulton, tout en s'occupant de quelques autres recherches qui ne pouvaient suffire encore à l'activité de son esprit, se consacra à suivre les perfectionnements de ses bateaux. Il parvint à faire entrer dans ses vues le gouvernement américain, et sa carrière se termina par la création d'un véritable monument en ce genre. En 1814, dans l'éventualité d'une guerre que pourraient provoquer les difficultés survenues entre l'Angleterre et les Etats-Unis, le Congrès fit construire à New-York, d'après les plans de Fulton, une immense frégate mue par la vapeur et destinée à la défense du port. Ce bâtiment, dont la con-

struction nécessita une dépense de 1 600 000 francs, et qui fut nommé *le Fulton Ier*, avait 145 pieds de long; il était formé de deux bateaux, séparés par un espace de 66 pieds de long sur 55 de large; c'est dans cet intervalle, et protégée ainsi contre le feu de l'ennemi, que se trouvait placée sa roue à aubes. Un bordage de 5 pieds garantissait la machine à vapeur; plusieurs centaines d'hommes pouvaient manœuvrer sur le pont à l'abri d'un fort rempart ; trente embrasures donnaient passage à autant de canons qui devaient lancer des boulets rouges; des faux, mises en mouvement par la machine à vapeur, armaient les côtés du bâtiment et devaient empêcher l'abordage, tandis que de grosses colonnes d'eau froide ou bouillante, vomies par divers tuyaux alimentés par la machine à vapeur, devaient inonder ou brûler tout ce qui se trouverait sur le pont, dans les hunes et dans les sabords du navire ennemi qui s'approcherait pour l'attaquer.

Cependant Fulton ne devait pas être témoin des effets de cette forteresse flottante. Malgré le privilége exclusif de navigation que lui avait accordé la législature de New-York, il eut le chagrin de voir un grand nombre de bateaux à vapeur s'établir sur les eaux qui lui avaient été concédées (1). Il fut ainsi amené à soutenir beaucoup de procès pénibles. En revenant de Trenton, capitale de l'État de New-Jersey, où s'était plaidée une des causes de son associé Livingston, il se trouva surpris sur l'Hudson par des froids excessifs; le fleuve était couvert de glaces qui arrêtèrent son bateau et

(1) Daniel Ood et John Fitch élevèrent la prétention de partager avec Fulton le privilége de la navigation exclusive par la vapeur concédé à ce dernier par l'acte de la législature de Washington. Un comité nommé par la chambre législative, dans un rapport sur cette affaire, ne craignit pas de fouler aux pieds les droits de Fulton en déclarant « que « les bateaux construits par Livingston et Fulton n'étaient, en défini- « tive, que l'invention de Fitch. » C'était là une décision fort injuste. Le moyen employé par Fitch était fort imparfait ; celui de Fulton était le premier qui eût réussi dans la pratique.

l'obligèrent à demeurer exposé, pendant plusieurs heures, aux rigueurs de la saison. Sir Emmet, son avocat et son ami, ayant failli périr sous les glaces, il fit des efforts inouïs pour l'arracher à la mort. Toutes ces causes réunies déterminèrent une fièvre grave, dont on réussit pourtant à se rendre maître. Mais, à peine en convalescence, il voulut aller surveiller les travaux de sa frégate à vapeur, et resta tout un jour exposé, sur le pont, au froid et au mauvais temps. La fièvre le reprit avec une nouvelle violence, et l'enleva, le 24 février 1815, âgé seulement de cinquante ans.

Jamais la mort d'un simple particulier n'avait provoqué, aux États-Unis, des témoignages aussi unanimes de respect et de douleur. Les journaux qui annoncèrent l'événement parurent encadrés de noir. Les corporations et les sociétés littéraires de New-York prirent le deuil pour un certain temps, et la législature de New-York, qui siégeait alors à Albany, le porta pendant trente jours. C'est le seul exemple d'un témoignage de ce genre accordé, en Amérique, à un simple particulier qui n'occupa jamais aucune fonction publique, et ne se distingua du reste de ses concitoyens que par ses talents et ses vertus. Toutes les autorités de New-York assistèrent à son convoi, et la frégate à vapeur tira, en signe de deuil et d'honneur, pendant le passage du cortége.

Il faut pourtant ajouter, pour rester fidèle à la vérité, que les compatriotes de Fulton laissèrent, après sa mort, sa famille en proie à des embarras pécuniaires qui résultaient de l'inexécution des conventions passées entre la législature des États-Unis et l'inventeur de la navigation par la vapeur.

CHAPITRE V

La navigation par la vapeur transportée en Europe. — Son établissement en Angleterre. — La *Comète* de Henri Bell en Écosse. — Service régulier de bateaux à vapeur établi en Angleterre. — Les bateaux à vapeur appliqués aux transports sur mer. — Premiers essais de navigation à vapeur en France. — Le premier bateau à vapeur venu à Paris.

L'Europe ne pouvait demeurer indifférente à ce qui venait de s'accomplir aux États-Unis. Si la marine à vapeur offrait à l'Amérique des avantages immenses par suite de la configuration de son territoire, les nations européennes, en raison de l'activité, de l'importance et du nombre de leurs relations mutuelles, devaient en obtenir des services non moins étendus.

Ce n'est qu'en 1812, cinq ans après le succès de Fulton aux États-Unis, que les bateaux à vapeur commencèrent à s'introduire dans la Grande-Bretagne. Un mécanicien écossais, Henry Bell, construisit, à cette époque, un bateau à vapeur qui navigua sur la Clyde : c'était *la Comète*, qui fit un service de transports entre Glascow et Greenock. Ce n'était guère là néanmoins qu'une sorte d'essai préliminaire, car ce bateau n'avait qu'une machine de la force de 3 chevaux.

La *Comète* de Henry Bell, qui fut lancée pour la première fois sur la Clyde, en Écosse, le 18 juin 1812, n'était du port que de 30 tonneaux. Ce bateau à vapeur, le premier qui fit en Europe un service régulier pour le transport des voyageurs, avait 40 pieds de longueur et 10 pieds 1/2 de largeur. Sa machine, qui différait peu par l'ensemble de ses dispositions de celle du célèbre bateau de Fulton, le *Cler-*

mont, mettait en action deux roues placées aux deux côtés du bateau.

Les efforts de Henry Bell pour établir en Ecosse la navigation par la vapeur dataient de plusieurs années. Déjà en 1800 et 1803, il avait adressé, sans succès, des demandes à l'amirauté anglaise pour entreprendre d'après ses vues, et aux frais de l'amirauté, des essais de navigation par la vapeur. L'amirauté, ayant fermé l'oreille à ses demandes, il adressa la description de ses appareils à plusieurs gouvernements de l'Europe et à celui des États-Unis d'Amérique. Ce que Fulton et Livingston avaient fait en Amérique pour y établir la navigation par la vapeur, Henry Bell essaya de le faire dans la Grande-Bretagne, et il fut le premier, en Europe, à faire accepter l'emploi de la vapeur dans la navigation fluviale et maritime.

D'après les lettres rapportées par M. Woodcroft (1), Henry Bell se serait trouvé en correspondance avec Fulton qui, de retour en Amérique, l'aurait prié de lui transmettre des renseignements exacts sur le bateau à vapeur qui fut essayé par Miller et Symington, en 1789, sur le canal de Forth et Clyde. D'après l'historien que nous venons de citer, Henry Bell trouva qu'il y aurait de l'absurdité à s'occuper en faveur d'un étranger d'un sujet si important, et il résolut de s'y consacrer pour son propre compte et son pays. Ayant construit différents modèles de bateaux à vapeur, et reconnu l'excellence de leurs dispositions, il fit exécuter, d'après ses plans, chez John Wood, un bateau qu'il munit de roues à aubes et d'une machine à vapeur. C'était la *Comète*, qui empruntait son nom à une comète qui, pendant l'année 1811, c'est-à-dire pendant la construction de ce bateau, apparut à la partie nord-ouest du ciel de l'Écosse, et fit beaucoup de bruit en Europe.

(1) *A Sketch of the Origin and Progress of Steam Navigation from Authentic Documents*, by Bennet Woodcroft, 1848, p. 83.

Henry Bell fit connaître au public, par l'avis suivant, l'existence de ce nouveau moyen de transport sur les fleuves et les rivières.

« *Avis aux voyageurs sur le paquebot* LA COMÈTE, *pour le service des passagers seulement entre Glascow, Greenock et Helensburg.*

« Le soussigné étant parvenu, après beaucoup de dépenses, à construire un élégant bateau destiné à la navigation sur la Clyde, entre Glascow et Greenock, et qui peut être mis en mouvement à volonté par la puissance de la vapeur ou celle du vent, se propose de faire partir ce paquebot de Broomelau, les mardis, jeudis et samedis vers midi, ou un peu plus tard, selon l'heure de la marée, et de partir de Greenock les lundis, mercredis et vendredis matin, pour profiter de la marée. Par l'élégance, le comfort, la vitesse et la sécurité qu'il présente, ce bateau méritera toute l'approbation du public, et le propriétaire est disposé à faire tout ce qui dépendra de lui pour l'obtenir.

« Les prix sont pour le moment de 4 shillings pour les premières et de 3 shillings pour les secondes.

« Le soussigné dirige toujours le service pour les bains de Helensburg, et un bateau sera prêt pour transporter les passagers de la *Comète* qui veulent se rendre de Greenock à Helensburg.

« HENRY BELL.

« Helensburg-les-Bains, 5 août 1812. »

Cet appel aux voyageurs porta peu de fruits. Il régnait dans le public un préjugé si fort et des craintes si enracinées contre les dangers que l'on croyait attachés à l'emploi de la vapeur sur les embarcations, que c'est à peine si quelques personnes osèrent s'aventurer sur ce paquebot. Les bateliers de la Clyde et les conducteurs des coches d'eau poursuivaient de leurs cris et de leurs huées les rares passagers de la *Comète*.

Un an se passa dans ces dispositions défavorables ; aussi pendant cette première année, Henry Bell ne retira-t-il que des pertes de son entreprise. Cependant on finit par re-

connaître que les passagers de la *Comète* étaient transportés aussi rapidement sur les 24 milles de son parcours que par le coche d'eau, et avec un tiers d'économie, ce qui commença à réconcilier le pays avec le nouveau mode de navigation.

Les bénéfices toutefois n'arrivaient pas plus vite pour le propriétaire de la *Comète*. Afin d'édifier complétement le public sur les avantages et la sécurité de son bateau, Henry Bell le fit naviguer sur toute la côte de l'Écosse, de l'Angleterre et de l'Irlande. Le public se montra dès lors moins timide, et les passagers finirent par affluer sur le bateau à vapeur. Avant l'établissement de ce paquebot, le nombre moyen des voyageurs entre Greenock et Glascow ne dépassait pas 80 par jour, et quatre années après, il n'était pas rare de compter chaque jour 450 passagers, jouissant du plaisir d'une excursion sur l'eau sur les bords enchanteurs de la Clyde.

Pour satisfaire l'extension croissante de la circulation entre ces deux points, Henry Bell fit construire en 1815 un bateau plus puissant : c'était le *Rob-Roy*, nom tiré d'un roman de Walter Scott. Ce bateau, du port de 90 tonneaux, et pourvu d'une machine de 30 chevaux de force, fut employé à la traversée de la Clyde et de Belfast. Pendant l'automne de la même année, plusieurs autres bateaux construits par Henry Bell furent envoyés de la Clyde sur divers points de l'Angleterre, et commencèrent à généraliser dans la Grande-Bretagne l'emploi des machines à vapeur dans la navigation sur les rivières.

D'après R. Stuart, pendant que Henry Bell préludait en Écosse à l'établissement de la navigation par la vapeur, c'est-à-dire pendant l'année 1811, un constructeur de l'Irlande, M. Dawson, s'occupait de son côté du même objet, et il fit construire à cette époque un bateau d'essai, du port de 50 tonneaux, qui était mis en mouvement par une petite

machine à vapeur marchant à haute pression. Par une coïncidence curieuse, ce bateau reçut le nom de *la Comète*, comme celui que H. Bell, en Écosse, lançait la même année sur les eaux de la Clyde (1).

La navigation à vapeur prenant peu à peu de l'extension dans la Grande-Bretagne, une ligne régulière desservie par deux bateaux à vapeur, l'*Hibernia* et la *Britannia*, fut établie entre Holyhead et Dublin.

Holyhead et Dublin sont séparées par la partie de la mer d'Irlande connue sous le nom de *canal Saint-George*. C'était pour la première fois en Europe que les bateaux à vapeur osaient naviguer en mer pour un service continu. La régularité et la sûreté parfaites avec lesquelles s'accomplirent les traversées dans ces parages orageux prouvèrent suffisamment les avantages des bateaux à vapeur pour les voyages sur mer et leur résistance extraordinaire aux accidents de la navigation maritime. Aussi vit-on, après cette épreuve décisive, plusieurs compagnies se former en Angleterre pour établir des services de paquebots sur les rivières, entre l'Angleterre et l'Irlande, et même sur quelques points entre la côte d'Angleterre et le continent européen.

En 1818, M. Dawson qui, d'après R. Stuart, avait débuté dès l'année 1811 dans cette belle carrière en même temps que Henry Bell, établit un paquebot à vapeur sur la Tamise pour faire le service entre Gravesend et Londres. Ce fut le premier bateau à vapeur que l'on ait vu sur la Tamise. En même temps, M. Lawrence, de Bristol, qui avait établi un paquebot à vapeur sur la Severne, excité par cet exemple, amena ce bateau à Londres pour le consacrer à un service régulier sur la Tamise. Mais l'opposition des bateliers et des matelots de Londres fut telle, que M. Lawrence fut contraint de renoncer à son entreprise, et de ramener son

(1) Stuart, vol. II, p. 525.

bateau sur la Severne. Plus tard, ce même bateau fut envoyé en Espagne, où il fit un service de transports de rivière entre Séville et San-Lucar.

Nous venons de voir la navigation par la vapeur débuter dans la Grande-Bretagne, marcher avec timidité, mais en définitive avec succès dans sa voie, et triompher peu à peu des obstacles que toute invention nouvelle rencontre à son origine, obstacles qui résultent à la fois de son état d'imperfection et des résistances que lui opposent les intérêts divers qu'elle menace. Nous allons maintenant suivre dans notre pays les progrès de la navigation par la vapeur ; ses progrès en France furent, comme on va le voir, beaucoup moins heureux dans la même période.

C'est en 1815 que l'on songea pour la première fois, parmi nous, à l'établissement de la navigation par la vapeur. La paix venait d'être conclue entre la France et les nations de l'Europe coalisées contre sa puissance et son génie. L'industrie française profita de cette trêve de paix pour essayer d'exploiter une invention dont la priorité, reconnue, constitue pour notre pays un titre de gloire nationale. M. de Jouffroy, à qui revient l'honneur d'avoir exécuté le premier, dans le monde entier, un bateau à vapeur, et qui doit être considéré dès lors comme le créateur de cette grande invention, avait, comme nous l'avons dit, émigré dès les premiers temps de la révolution française, et passé à l'étranger une existence obscure et inutile. Rentré en France au moment de la restauration des Bourbons de la branche aînée, il avait obtenu les bonnes grâces de la cour, qui l'avait envoyé comme commissaire dans les départements de l'Est. Profitant de la faveur royale, il fit valoir ses droits comme créateur en France de ce mode de navigation, et il n'eut pas de peine à obtenir un brevet qui le déclarait le premier auteur de cette découverte. Une société financière ne tarda

pas à s'offrir pour exécuter les plans qu'il présentait. Le comte d'Artois se déclara son protecteur, et l'on donna le nom de *Charles-Philippe* à un bateau à vapeur qui fut construit au Petit-Bercy, et lancé avec une certaine solennité, le 20 août 1816, pendant les fêtes qui suivirent le mariage du duc de Berry. La fortune semblait enfin sourire à la persévérance et aux talents du marquis de Jouffroy ; mais cette tardive lueur de prospérité ne fut qu'un éclair. Son privilége fut contesté judiciairement ; une compagnie nouvelle, la société Pajol, obtint un brevet et commença une exploitation rivale. Cette concurrence fut fatale aux deux entreprises. Les dépenses considérables que nécessitait la construction des bateaux à vapeur, si mal connue parmi nous à cette époque, absorbèrent tous les fonds des actionnaires. La compagnie de M. de Jouffroy fut ruinée, et ses concurrents ne furent guère plus heureux. M. de Jouffroy retomba dans l'obscurité d'où il était un moment sorti, de telle sorte que l'auteur des premiers essais exécutés en France pour la navigation par la vapeur fut contraint, après la révolution de juillet 1830, d'entrer aux Invalides comme ancien capitaine d'infanterie. Il y est mort du choléra en 1832, âgé de quatre-vingts ans, et ne laissant à ses fils d'autre héritage que son nom.

Les bateaux à vapeur qui furent construits par la compagnie du marquis de Jouffroy étaient pourvus d'un mécanisme de roues palmées, s'ouvrant et se refermant par la résistance de l'eau, d'après le système imaginé plus de trente années auparavant par M. de Jouffroy. La compagnie Pajol, qui essayait en même temps d'introduire en France la navigation par la vapeur, dut adopter des dispositions différentes de celles dont faisait usage la compagnie rivale. Pour ne pas se mettre en frais d'invention, on décida d'aller simplement acheter à Londres un des bateaux à vapeur qui commençaient à naviguer sur la Tamise, et de consacrer ce bateau

au service de transports que l'on voulait essayer d'établir. Un capitaine de marine, nommé Andriel, reçut de la compagnie Pajol la mission de se rendre à Londres pour s'y procurer un bateau capable de donner aux Parisiens l'idée de la nouvelle navigation, et de conduire ce bateau de Londres à Paris.

La traversée de la Manche, faite sur ce bateau à vapeur par le capitaine Andriel et le petit équipage qui l'accompagnait, fut semée d'incidents assez curieux pour être rapportés ici. Un vif intérêt se rattache d'ailleurs à cet épisode du premier bateau à vapeur venu en France en franchissant le Pas-de-Calais.

Arrivé à Londres au mois de janvier 1816, le capitaine Andriel, malgré plusieurs jours de recherches, ne put découvrir sur la Tamise et dans les docks que trois pauvres bateaux, dont le plus fort, le *Margery*, n'avait que 16 mètres de longueur sur 5 de largeur, et n'était pourvu que d'une machine de la force de 10 chevaux. N'ayant pas le choix, il dut se contenter de ce chétif modèle ; il le débaptisa de son nom britannique de *Margery*, pour lui donner le nom d'*Elise*, et le 9 mars 1816, il s'embarqua sur ce petit navire avec dix hommes d'équipage, y compris le mécanicien et le chauffeur.

L'*Elise* était partie du pont de Londres à midi ; à trois heures on était à Gravesend ; on quitta cette ville le lendemain dimanche. Le petit navire à vapeur ne tarda pas à rencontrer sur la Tamise un cutter de la marine royale. Le commandant de ce vaisseau pressentait sans doute dès ce moment les grandes destinées qui attendaient la navigation par la vapeur, et la supériorité qu'elle devait manifester un jour sur la marine à voiles, car il essaya d'arrêter dans ses langes la jeune invention qui se montrait pour la première fois à ses regards. Il dirigea ses bordées vers l'embarcation du capitaine Andriel, qu'il mit plusieurs fois en danger de

couler à fond. C'est en vain que l'équipage protestait, au moyen du porte-voix, contre ces brutales attaques : abusant de sa force, le gros navire courut de si près sa dernière bordée, que son mât de beaupré vint heurter la cheminée de tôle de la machine à vapeur de l'*Elise*. Cependant, par un effort de vitesse, le navire à vapeur parvint à se mettre hors de l'atteinte de son terrible ennemi, qui espérait sans doute, qu'en coulant la petite embarcation, il aurait suffisamment établi, aux yeux de tous, les dangers de ce nouveau mode de navigation.

Le 10 mars, à onze heures du soir, l'*Elise* se trouvait à la hauteur de Douvres, et le 11, elle entrait dans la Manche, à 35 milles sud de Beachy-Head, dans la direction du Havre, lorsqu'un vent de sud-ouest des plus violents, la crainte des avaries, enfin quelques murmures de l'équipage, qui n'osait braver avec la vapeur les dangers de la haute navigation par une grosse mer, décidèrent le capitaine à rebrousser chemin. On ramena le navire sous Demgerness, où l'on jeta l'ancre au milieu de beaucoup d'autres bâtiments qui étaient venus s'y abriter comme lui.

Le mauvais temps s'étant maintenu, ce ne fut que quatre jours après, c'est-à-dire le 15, à cinq heures du matin, que l'*Elise* put reprendre la mer et se diriger vers le Havre. Mais à midi, un fort vent du sud souleva la mer avec tant de violence, qu'elle emporta quatre des palettes de fer des roues du bâtiment, ce qui le força d'entrer au port de New-Haven pour réparer cette avarie.

L'accident réparé, l'*Elise* quitta New-Haven à une heure de l'après-midi, en présence d'une foule nombreuse accourue de tous les environs pour assister au spectacle nouveau d'un navire à vapeur prenant la mer.

A peine l'équipage de l'*Elise* avait-il perdu de vue la côte d'Angleterre, que la mer devint menaçante. Les lames étaient si fortes, que la coque du navire sortait à demi de

l'eau; dès lors l'une des roues tournait à vide, c'est-à-dire hors du liquide. Vers minuit, la tempête devint furieuse. L'équipage était épouvanté, tant de l'inégalité du jeu de la machine, par suite de l'élévation de l'une des roues hors de l'eau, que de la violence de la tempête et de l'imprévu d'une navigation qui plaçait les passagers entre l'eau et le feu, sur une chétive embarcation, par une nuit noire et une pluie battante. L'équipage, entièrement composé de matelots anglais, demanda donc à grands cris de retourner en Angleterre, car le vent était favorable au retour.

Sans tenir aucun compte des réclamations de ses matelots, le capitaine Andriel descendit dans la cale pour observer soigneusement toutes les parties de la machine à vapeur. Satisfait de cet examen, il donna l'ordre de continuer d'avancer contre le vent et les flots. Les vents variaient à chaque instant, et souvent avec une violence telle, qu'un navire à voiles eût été forcé de mettre en cape. Plusieurs fois la lame, couvrant le petit navire tout entier, renversa le capitaine et les matelots qui se trouvaient sur le pont.

Vers deux heures du matin, le capitaine était descendu dans sa chambre pour y faire sécher ses vêtements mouillés par la mer. Il avait fait allumer un grand feu dans un poêle de fonte, composé de plusieurs pièces superposées, lorsqu'un coup de vent terrible, renversant à demi le bateau, démonta le poêle, fit rouler sur le sol les pièces qui le composaient, et répandit sur le plancher, recouvert de toile cirée, une lave de houille ardente. Si cet accident eût amené l'incendie du navire, nul doute qu'on n'eût attribué ce malheur au foyer de la machine ou à l'explosion de la chaudière. En l'absence de tous témoins, cette interprétation était inévitable, et la navigation à vapeur eût été discréditée en Angleterre, dès son berceau. Les compagnies d'assurances, qui, au départ de l'*Elise*, avaient obstinément refusé d'assurer le navire et

la vie du capitaine, se seraient, dans ce cas, hautement applaudies de leur prudence.

Heureusement, rien de tout cela n'arriva. Le capitaine, sans invoquer le secours d'aucun homme de l'équipage, parvint à arrêter ce commencement d'incendie avec la seule aide de son second, qui avait compris, comme lui, combien il importait, dans ce moment, de se hâter et surtout de se taire.

Ce danger était à peine conjuré que la mer devenant de plus en plus dangereuse, tout l'équipage fit entendre de nouveau ses réclamations, formulées très-haut, et son impérieux désir de regagner la côte anglaise. Le capitaine Andriel résista énergiquement à ces prétentions. Il fit servir aux hommes du bord quelques verres de rhum, et promit trois bouteilles de cette liqueur à celui qui annoncerait le premier la terre de France. Un hourra d'assentiment accueillit cette promesse, et chacun reprit son poste.

A quatre heures trois quarts du matin, deux voix crièrent à la fois : « *French light !* » (*fanal français*). Aussitôt le capitaine s'élança sur le pont, et malgré une mer toujours furieuse, il put se convaincre de la vérité. A six heures du matin, l'*Elise* était en vue du Havre, après une traversée de dix-sept heures, et par une mer violente, que l'on avait vue depuis la veille couverte de débris de vaisseaux.

Le bateau-pilote du Havre se dirigeait vers le navire épuisé par sa pénible lutte contre les éléments; mais dès qu'il eut aperçu la fumée de la cheminée qui signalait une embarcation à vapeur, il vira de bord et rentra au Havre, où l'*Elise* dut pénétrer sans guide. Malgré le mauvais temps, une foule immense remplissant les quais attendait avec anxiété de connaître le sort de ce navire attendu depuis plusieurs jours.

Lorsque le capitaine Andriel se présenta chez le correspondant de sa compagnie chargé de recevoir l'*Elise*, ce dernier se refusa à croire que le capitaine eût effectué la traversée de la Manche par une mer qui avait été la nuit

précédente funeste à tant de navires. Il fallut, pour le convaincre entièrement, le conduire à bord de l'*Elise*.

Le lendemain, 20 mars, à trois heures de l'après-midi, et en présence de toute la population du Havre, l'*Elise* quitta ce port pour se rendre à Paris par la Seine, en traversant Rouen. La nuit suivante fut très-obscure. Les villageois se rassemblaient sur les rives du fleuve, appelés par le bruit des roues, et effrayés par la vue des étincelles et des jets de flamme qui s'échappaient du bateau, car l'ardeur du foyer faisait souvent rougir le bas de la cheminée jusqu'à un mètre au-dessus du pont. Cette espèce de torche sillonnant avec rapidité le cours du fleuve attirait de loin tous les regards, et semait l'épouvante sur son parcours. Les cris sinistres : *Au feu! au feu!* le tocsin et les aboiements des chiens, ne cessèrent qu'au point du jour de poursuivre la fantastique apparition.

Mais la scène changea avec le lever du soleil. On parcourait les belles rives de la Seine aux approches de Rouen, et l'on ne trouva plus que des paysans au visage gai et épanoui, qui saluaient les passagers en jetant leurs chapeaux en l'air.

Il fallut s'arrêter à Rouen pour faire disposer la cheminée du bateau à vapeur de manière à pouvoir l'abaisser au passage des ponts. Le 25, à onze heures du matin, l'*Elise* quittait Rouen, ayant à son bord le prince Wolkonski, aide de camp de l'empereur de Russie Alexandre, et quelques officiers de sa suite, venus de Paris dans cette intention. Le navire traversa Rouen sous les doubles couleurs françaises et russes, aux acclamations des habitants de la ville et des campagnes d'alentour qui encombraient les quais, les fenêtres et jusqu'aux toits des maisons. Les officiers russes embarqués sur l'*Elise* ne se méprirent pas sans doute sur l'objet et l'adresse de ces hommages. La cité rouennaise saluait de ses vivat sympathiques l'inauguration d'un système nou-

veau qui devait renouveler la navigation ; elle oubliait pour un moment la douloureuse présence des alliés dans la capitale de la France.

Le 28 mars, l'*Elise* mouillait à la hauteur du Champ de Mars, et le lendemain, les Parisiens se pressaient sur les quais, depuis la barrière de la Conférence jusqu'au quai Voltaire, où devait s'arrêter le bateau. On avait fait porter la veille deux canons à bord de l'*Elise*. Arrivé au pont de la Concorde, le capitaine commanda de tirer le premier coup de canon, auquel succéda toute une salve, dont le vingt et unième coup retentit sous les fenêtres du palais des Tuileries, et aux acclamations de la multitude. Le roi Louis XVIII, qui assistait à cette scène, accoudé à une fenêtre du palais, ne put s'empêcher de partager l'enthousiasme public : il applaudit en élevant les mains.

Là se termina l'épopée du premier bateau à vapeur venu en France. Le 10 avril, l'*Elise* partit pour Rouen et commença un service de transports réguliers entre cette ville et Elbeuf. Mais l'entreprise s'arrêta bientôt devant des embarras qui amenèrent sa dissolution, et le bateau à vapeur dut reprendre le chemin de l'Angleterre, où son premier soin fut de rentrer en possession de son titre britannique de *Margery*, et de répudier ce doux et mélodieux nom d'*Elise*, qui aurait pourtant rappelé son triomphe et ses beaux jours.

Les temps n'étaient pas encore venus pour la France d'inaugurer avec éclat ou avec succès le nouveau mode de navigation. Après les essais que nous venons de rappeler, quatre années se passèrent sans que rien fût entrepris en ce genre. En 1820 seulement, un constructeur anglais, Steel, lança sur la Seine, entre Elbeuf et Rouen, un petit bateau à vapeur, ayant pour propulseur une rame articulée, ou *patte d'oie*, selon le système du marquis de Jouffroy.

En 1821, une compagnie anglaise amena en France deux bateaux à vapeur en fer, *l'Aaron-Mamby* et *la Seine*, qui

firent sur la Seine un service de transports. Peu après, deux autres bateaux à vapeur, *le Commerce* et *l'Hirondelle*, semblables aux deux premiers, sortaient des ateliers que Mamby venait d'établir à Charenton ; l'appareil moteur de ces bateaux, construit par M. Cavé, consistait en une machine à vapeur oscillante et à haute pression.

C'est de 1825 à 1830 que nos rivières et nos grands ports de mer ont commencé à recevoir presque tous un service régulier de bateaux à vapeur, pour le remorquage ou le transport des marchandises.

Les premiers bateaux à vapeur pour le service de la mer qui aient été construits en France sont, *le Courrier de Calais*, construit en 1827 par M. Cavé, avec *roues articulées* et machine à vapeur de 60 chevaux, et le remorqueur du Havre, *le Vésuve*, construit en 1828 (1).

Mais une catastrophe terrible, qui attrista le midi de la France, vint retarder, en 1829, l'essor que commençait à prendre parmi nous la navigation à vapeur. La chaudière d'un grand bateau construit et mis en service sur le Rhône, fit explosion à son premier voyage d'essai. Un grand nombre de victimes périrent dans ce désastre ; plusieurs personnages importants de Lyon, qui avaient pris place sur le bateau, furent au nombre des morts. Ce malheur eut dans le midi de la France un retentissement douloureux. Nous avons encore présents à l'esprit, bien que dans l'enfance à cette époque, les élans de l'indignation publique contre le constructeur de la machine à qui l'on imputait l'événement. Ce constructeur, c'était l'Anglais Steel, l'auteur du bateau d'Elbeuf à Rouen. Dans un essai fait précédemment en Angleterre, il avait eu une jambe emportée par l'explosion d'une chaudière. Il fut au nombre des victimes du désastre du Rhône, et toute la population lyonnaise ne

(1) *Traité élémentaire et pratique des machines à vapeur*, par M. Jules Gaudry, t. II, p. 394.

vit dans sa triste fin qu'un juste effet de la punition divine.

Cependant, le souvenir de cet événement douloureux finit par s'effacer; la confiance revint aux riverains de la Saône et du Rhône, par les récits continuels des succès qu'obtenait en Amérique et en Angleterre le nouveau mode de navigation. Les deux fleuves lyonnais commencèrent alors à recevoir l'organisation définitive de la navigation par la vapeur. L'industrie riveraine conserve aujourd'hui avec reconnaissance les noms de MM. Clément Reyre, Brettmayer et Bourdon, dont les persévérants efforts ont créé les premiers services réguliers de bateaux à vapeur sur le Rhône et la Saône.

C'est vers 1830 que la Loire, la Garonne et la Seine ont eu leurs premiers bateaux à vapeur pour le service des voyageurs. Les *Hirondelles* de la Saône et de la Loire, les *Bateaux-Parisiens*, la *Ville-de-Sens*, de M. Cochot, et les *Bateaux Cavé*, avec coque de fer, sont encore dans le souvenir des riverains.

Mais la navigation par la vapeur avait à prendre un dernier, et on peut le dire, un sublime essor; il lui restait à accomplir les voyages de long cours, à essayer de faire, sans désemparer, la traversée de l'Atlantique. C'est en 1836 que s'opéra cette grande et nouvelle phase dans l'évolution de la découverte dont nous racontons l'histoire.

CHAPITRE VI

La navigation transatlantique. — Premières tentatives : Voyage du *Savannah* et de l'*Entreprise*. — Voyage transatlantique du *Great-Western* et du *Sirius* en 1816. Derniers progrès de la navigation à vapeur jusqu'à notre époque.

Quelques tentatives qui remontaient bien avant l'année 1836 avaient déjà fait entrevoir la possibilité d'étendre le mode de communication par la vapeur aux voyages de long cours. Déjà, en 1819, un navire américain, le *Savannah*, avait eu l'audace d'entreprendre un voyage entre l'ancien et le nouveau monde, et les circonstances qui accompagnèrent cette tentative méritent d'être brièvement racontées.

Vers l'année 1818, le capitaine Moses Rogers, de Savannah (Géorgie), conçut le projet de faire construire un bateau à vapeur destiné à un service régulier entre New-York et un point de l'Europe à déterminer ultérieurement. Il s'adressa, à cet effet, à une société de capitalistes dont faisaient partie MM. Dunning, Scarborough, O. Sturges, B. Burroughs, J. P. Henry, Barna, Mac-Kennie et divers autres, qui résolurent de tenter l'épreuve. En conséquence on acheta à New-York un beau navire à voiles, dont les proportions semblaient les plus propres à atteindre ce but : on lui conserva son gréement et ses accessoires de bâtiment à voiles, et l'on y installa une machine à vapeur horizontale et des roues à aubes. Ces roues étaient construites de manière à pouvoir se démonter facilement et se replier sur le pont comme un éventail fermé. Son arbre de couche était organisé dans les mêmes conditions ; la cage des roues se composait de toiles goudronnées étendues sur des branches de fer.

Le *Savannah* était du port de 389 tonneaux, gréé en trois-mâts-barque. Il partit de Savannah le 26 mai 1819, et arriva à Liverpool, en Angleterre, après une traverséa de vingt-cinq jours, sur lesquels sa machine fonctionna seulement dix-huit jours. D'après une autre version, et suivant le témoignage d'un des officiers du *Savannah*, il n'aurait mis que dix-huit jours à ce voyage, sa machine ayant fonctionné pendant sept jours seulement. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'au milieu de l'Atlantique, dans la crainte de manquer de combustible, on démonta les roues, pour épargner le charbon et profiter d'une brise favorable qui s'était élevée. Mais, aux approches de la côte anglaise, on replaca tout l'appareil de locomotion, afin de terminer le voyage comme il avait été commencé, c'est-à-dire à l'aide de la vapeur.

La vue de ce bâtiment venant du large sans l'aide de la voile excita la plus vive admiration en Angleterre. Comme le *Savannah* remontait le canal Saint-George, le commandant d'une division anglaise, voyant venir à lui un bâtiment à sec de toile et couronné d'une épaisse fumée qui paraissait s'échapper de la mâture, crut que le navire était en feu. Il se hâta, après avoir mouillé dans ses eaux, d'envoyer deux canots à son secours; mais, dès qu'il eut reconnu son erreur, il se rendit lui-même le long du bord du steamer pour examiner plus attentivement cette merveille. A l'entrée des docks de Liverpool, le *Savannah* fut reçu avec des hourras d'enthousiasme, et le capitaine se vit fêté par tous les corps constitués de la villé (1).

(1) Les faits précédents, qui ont été rapportés en 1857 par le *Courrier des États-Unis*, sont consignés dans les annales de Liverpool, et les circulaires commerciales de cette époque racontent avec détails le succès du bâtiment américain.

Après ce succès, le *Savannah* se rendit dans la mer Baltique; se trouvant dans le port de Cronstadt, il éprouva une tempête des plus violentes, à laquelle toutefois il put échapper, grâce au secours de ses roues, pendant qu'un grand nombre de bâtiments à voiles se perdaient

Après ce tour de force de navigation, on cite encore, dans le même ordre de tentatives, le steamer anglais *l'Entreprise* qui, en 1825, fit le voyage des Indes. Parti de Falmouth, ce navire, qui se servit alternativement du vent et de la vapeur, resta quarante-sept jours à aller du cap de Bonne-Espérance à Calcutta.

A la même époque, un bâtiment hollandais réussit à exécuter, en se servant alternativement de ces deux moyens, le voyage d'Amsterdam à Curaçao dans les Antilles.

Le succès de ces deux derniers voyages fit concevoir l'espoir de traverser l'océan Atlantique par le seul secours de la vapeur. A l'Angleterre appartient l'honneur d'avoir accompli cette grande entreprise, et d'avoir réalisé le fait, longtemps regardé comme un rêve, d'exécuter le voyage d'Amérique avec des bâtiments à vapeur.

C'est en 1836 que l'on parla pour la première fois, en Angleterre, de ce projet hardi, qui rencontra dès le début de vives résistances de la part des marins et des savants. Des hommes du métier, d'une autorité incontestable, affirmaient qu'il serait impossible d'établir un service régulier de bateaux à vapeur pour la traversée de l'Océan ; tout ce que l'on pouvait espérer, disait-on, c'était de passer des ports les plus à l'ouest de l'Europe aux îles Açores ou à Terre-Neuve, pour y renouveler la provision de combustible. Des raisons puissantes semblaient justifier cette prédic-

autour de lui. Pendant son séjour à Saint-Pétersbourg, l'empereur Alexandre fit à ce steamer une visite détaillée, et pour témoigner au capitaine Rogers son admiration pour le nouveau paquebot transatlantique, il lui fit accepter deux magnifiques chaines en fer provenant des arsenaux de l'empire, et dont une (la seule relique qui reste aujourd'hui de l'aventureux pionnier) est encore conservée dans le jardin de M. Dunning, à Savannah, en souvenir de cette entreprise audacieuse.

A son retour à Savannah, après sa tournée en Europe, ce steamer fut envoyé à Washington, où il fut vendu. On lui enleva alors sa machine, et il redevint paquebot à voiles. Il a terminé sa carrière aventureuse sur Long-Island, où il se perdit dans un dernier voyage.

tion décourageante. Il fallait franchir une distance d'environ 1400 de nos lieues terrestres, sans trouver un seul point de relâche intermédiaire qui pût fournir aux navires un secours ou un abri. En outre, l'Atlantique est souvent agité par de violentes tempêtes, et le trajet vers le nouveau monde est coupé de nombreux courants contraires aux vaisseaux partis d'Europe, de telle sorte que ce voyage, effectué par des navires à voiles, exige ordinairement trente-six jours. La quantité de charbon à emporter pour suffire, pendant cette longue traversée, à l'alimentation de la chaudière, semblait donc opposer à cette entreprise une difficulté insurmontable. L'exemple invoqué du steamer anglais *l'Entreprise*, qui avait fait, en 1825, le voyage des Indes, était loin, ajoutait-on, d'être concluant, car ce navire avait relâché au cap de Bonne-Espérance, il avait mis quarante-sept jours pour atteindre de ce port à Calcutta, et il avait fait alternativement usage de la vapeur et des voiles. On pouvait en dire autant du *Savannah*, qui avait accompli, en 1819, la traversée de New-York en Angleterre, puisqu'il avait fait usage, comme nous l'avons dit, de la voile en même temps que de la vapeur, et qu'il avait mis un retard de six jours sur la marche des navires ordinaires.

Une autre question importante se débattait entre les gens d'affaires, c'était la cherté de ce moyen de transport. Le vent qui enfle les voiles d'un vaisseau, ne coûte rien, tandis que l'alimentation d'une chaudière à vapeur, occasionne une dépense considérable. De plus, une machine installée à bord d'un vaisseau occupe un grand espace qui est perdu pour les marchandises, et diminue par conséquent les bénéfices du transport. La cherté du fret des bâtiments à vapeur pourrait donc difficilement, disait-on, soutenir la concurrence de la navigation à voiles.

Les savants ne se montraient pas plus favorables au nouveau projet. Un professeur de Londres, M. Lardner, dans un

ouvrage qu'il publia sur les effets de la vapeur, se livra à une série de calculs pour démontrer l'impossibilité de réussir dans cette entreprise. Il se rendit même à Bristol, et dans une des séances publiques qui furent tenues à cet effet, il déclara qu'essayer de traverser l'Atlantique avec les paquebots à vapeur, serait aussi insensé que « de prétendre aller dans la lune. »

Cependant l'industrie britannique raisonne peu; il n'est point d'entreprise, si hardie, si téméraire qu'elle soit, qui ne trouve en Angleterre ses moyens d'exécution. Tandis que les savants dissertaient, tandis que les négociants calculaient, tandis que les hommes de mer critiquaient, des centaines d'ouvriers étaient occupés, dans les chantiers de Bristol, à construire un immense navire qui devait triompher de toutes les prophéties contraires. Au commencement de 1838, le *Great-Western* était terminé : c'était un des plus beaux, des plus élégants et des plus majestueux navires qui fussent encore sortis des chantiers de la marine britannique. Il jaugeait 1340 tonneaux, et sa longueur était de 240 pieds. Les deux machines à vapeur qu'il contenait étaient de la force de 450 chevaux. On peut se faire une idée de ses dimensions en se figurant un de nos vaisseaux de ligne de 80 canons. Outre son appareil à vapeur, il portait quatre mâts à voiles destinés à suppléer, si cela était nécessaire, à l'action de la vapeur. Les roues avaient 8 mètres et demi de diamètre, et les palettes 3 mètres et demi de longueur. On avait épuisé dans les dispositions de l'intérieur toutes les ressources de l'élégance et du luxe.

Au mois de mars 1838, la construction du *Great-Western* était terminée, et peu de temps après, sur les murs de la salle même où le professeur de Londres avait rendu ses oracles, on lisait une affiche ainsi conçue : *Le* GREAT-WESTERN, *commandé par le lieutenant Hosken, partira de Bristol pour New-York, le 4 avril.* »

Sur cette annonce, une autre compagnie se décida à tenter la même entreprise : le *Sirius*, navire à vapeur jaugeant 700 tonneaux, et muni d'une machine de la force de 320 chevaux, se disposa à essayer, en même temps que le *Great-Western*, le voyage transatlantique.

Le 5 avril 1838, le *Sirius* partit de la rade de Cork, en Irlande : c'est le port des îles britanniques le moins éloigné des États-Unis ; il emportait 453 tonneaux de charbon et 53 barils de résine destinés à servir de combustible. Trois jours après, le *Great-Western* appareillait à Bristol pour New-York, avec 660 tonneaux de charbon ; sept passagers seulement avaient osé braver les dangers du voyage. C'est alors que commença la lutte la plus étonnante dont l'Océan eût jamais été le théâtre, entre ces deux navires marchant par la seule puissance de la vapeur et cherchant à se dépasser l'un l'autre sur la vaste carrière de l'Atlantique. Le vent, qui ne cessait de souffler de l'ouest, leur opposa, pendant les premiers jours, des obstacles devant lesquels auraient reculé les plus forts navires à voiles : leur marche n'en fut pas un instant retardée. Pendant la première semaine, le *Sirius* fit peu de chemin, parce que le combustible le surchargeait ; mais, à mesure qu'il s'allégea en brûlant sa houille, sa vitesse s'accrut rapidement. Le 22 avril, les deux vaisseaux couraient sous la même latitude, séparés seulement par la faible distance de 3 degrés en longitude. Enfin la victoire resta au *Sirius*, qui avait eu trois jours d'avance : dans la matinée du 23, il se trouvait en vue de New-York.

On était prévenu, dans ce port, de l'arrivée prochaine des deux bâtiments anglais ; chaque jour une foule immense se pressait sur le rivage, interrogeant l'horizon. Parmi les spectateurs qui portaient avec anxiété leurs regards sur l'Océan, se trouvaient quelques vieillards qui avaient été témoins autrefois du départ de la *Folie-Fulton*, et qui, ra-

contant à leurs amis comment avaient été trompées à cette époque toutes les prévisions et toute la sagesse des temps passés, annonçaient avec un chaleureux espoir la prochaine venue des envoyés de l'ancien monde. Enfin, le 23, au matin, on vit poindre à l'extrémité de l'horizon une légère colonne de fumée; peu à peu elle se dessina plus nettement, et le corps tout entier du navire parut sortir des profondeurs de la mer : c'était le *Sirius* qui arrivait d'Angleterre après une traversée de dix-sept jours. Il franchit les passes et entra dans la baie de New-York, faisant flotter sur ses mâts les pavillons réunis d'Angleterre et d'Amérique. Quand il pénétra dans la rade, les batteries de l'île Bradlow le saluèrent de vingt-six coups de canon, et aussitôt les eaux se couvrirent de milliers de bateaux partant à la fois de toutes les directions. Les navires du port se pavoisèrent de leurs pavillons aux mille couleurs, le carillon des cloches se mêla au bruit retentissant de l'artillerie, et toute la population de New-York, rassemblée sur les quais, salua de ses acclamations d'enthousiasme le *Sirius* laissant tomber au fond de l'Hudson la même ancre qui avait mouillé dix-sept jours auparavant dans un port d'Angleterre.

L'émotion des habitants de New-York avait eu à peine le temps de se calmer que le *Great-Western* se montrait à son tour. Arrivant avec toute la vitesse de sa vapeur, il vint se ranger à côté de son heureux rival. Le *Sirius* fit entendre trois cris de victoire à l'entrée du *Great-Western;* les batteries de la ville le saluèrent d'une salve d'artillerie à laquelle il répondit par le salut de son pavillon, tandis que tout son équipage, réuni sur le pont, portait la santé de la reine d'Angleterre et du président des États-Unis :

« Comme nous approchions du quai, rapporte le journal d'un des passagers du *Great-Western*, une foule de bateaux chargés de monde s'amassèrent autour de nous. La confusion était inexprimable; les pavillons flottaient de toutes parts; les canons

tonnaient et toutes les cloches étaient en branle. Cette innombrable multitude fit retentir un long cri d'enthousiasme qui, répété de loin en loin sur la terre et sur les bateaux, s'éteignit enfin et fut suivi d'un intervalle de silence complet qui nous fit éprouver l'impression d'un rêve. »

Quelques jours après, les deux navires quittaient New-York pour revenir en Europe. Cette seconde épreuve eut le même succès. Le *Sirius* arriva à Falmouth, après un voyage de dix-huit jours et sans aucune avarie. Le *Great-Western*, parti de New-York le 7 mai, arriva à Bristol après quinze jours de traversée ; il avait eu à supporter plusieurs jours de vents contraires, et dans le cours d'une violente tempête, il n'avait pu faire que deux lieues à l'heure.

Le problème de la navigation transatlantique par la vapeur fut pleinement résolu par ces deux mémorables voyages, et peu de temps après le gouvernement confiait au *Great-Western* le transport régulier de ses malles et des voyageurs. Le *Sirius*, qui fut trouvé trop faible pour le service de l'Atlantique, fut rendu à son ancienne navigation de Londres à Cork. Le *Great-Western* continua avec le plus grand bonheur son service à travers l'Océan. Depuis 1838 jusqu'à 1844, il fit trente-cinq voyages d'Angleterre aux États-Unis, et revint autant de fois à son point de départ. La durée moyenne de sa traversée était de quinze jours et demi pour arriver à New-York, et de treize jours et demi pour en revenir. Son voyage le plus rapide a été accompli en mai 1843 ; il n'exigea que douze jours et dix-huit heures, c'est-à-dire un tiers à peu près de la durée moyenne de ce voyage par les navires à voiles. Son plus prompt retour en Europe eut lieu en mai 1842, il se fit en douze jours et sept heures.

Plusieurs autres bâtiments à vapeur, parmi lesquels il en était un d'un port supérieur à celui du *Great-Western*, ont été consacrés, en Angleterre, à la navigation de l'Atlantique.

Le *Royal-William* fut le premier en date, mais il reçut au bout de quelque temps une autre destination. Vinrent ensuite la *Reine-d'Angleterre*, le *Président* et le *Liverpool ;* chacun de ces trois navires, construit sur les plus grandes proportions, avait coûté 2,500,000 francs. Le premier, après plusieurs traversées, fut acheté par le gouvernement belge. Le *Président* périt en mer, corps et biens, en 1841 ; quant au *Liverpool*, il fut brisé sur la côte d'Espagne pendant son service de Southampton à Alexandrie.

L'un des plus grands navires à vapeur construits par la marine britannique a été lancé, en 1843, dans les chantiers de Bristol. Ce fut le premier essai, au moins sur d'aussi grandes proportions, d'un bâtiment à vapeur dans lequel le fer fût partout substitué au bois, et les roues à aubes remplacées par l'hélice. Ce magnifique bâtiment, qui eut pour parrain le prince Albert, fut nommé le *Great-Britain*. Il avait 98 mètres de longueur sur 15 1/2 de largeur. Sa machine était de la force de 1000 chevaux. Il ne répondit pas cependant aux hautes espérances qu'il avait fait concevoir. Après avoir reçu sa machine, son tirant d'eau se trouva si considérable qu'il ne put franchir l'entrée du bassin de Liverpool, et il demeura longtemps prisonnier dans l'enceinte même où il avait été construit. Il fallut pour l'en délivrer toute l'habileté des meilleurs ingénieurs de l'Angleterre. Il avait cependant accompli plusieurs fois avec succès le voyage d'Amérique, lorsque sa carrière se trouva soudainement interrompue. Le capitaine du *Great-Britain*, par suite d'une erreur de navigation, le jeta sur la côte d'Irlande ; il demeura, pendant tout l'hiver de 1846, échoué dans la baie de Dumdrum. Ce n'est qu'avec les plus grandes difficultés que l'on parvint à remorquer cet énorme navire à travers la mer d'Irlande, jusqu'au bassin de Liverpool où il a offert pendant plusieurs années un assez triste spectacle.

Le premier navire à vapeur qui ait fait le tour du monde,

c'est le *Driver* (le *Chasseur*). Ce navire partit de l'Angleterre le 16 mars 1842, sous le commandement de M. Harmer qui mourut en Chine. Le capitaine Hayes prit le commandement du navire et le ramena en Angleterre. Reparti de Liverpool, le *Driver*, après avoir touché successivement à l'île Maurice, à Singapore et à Hong-Kong, séjourna dans les mers de la Chine de 1842 à 1845, et plus tard dans les parages des Indes.

La France ne devait pas longtemps rester en arrière du mouvement rapide imprimé en Europe à la navigation par la vapeur. On a vu que dès l'année 1816, à l'époque où la marine à vapeur commençait à recevoir en Angleterre ses premiers développements, on avait essayé de l'établir parmi nous. Mais la route était alors à peine tracée, nos mécaniciens avaient échoué dans cette entreprise. Ces tentatives furent reprises six ans après. Comme la marine à vapeur se trouvait, aux États-Unis, dans une situation florissante, on prit le sage parti d'aller chercher des leçons dans ces contrées. En 1822, le ministre de la marine envoya dans le nouveau monde un ingénieur d'un grand mérite, M. Marestier, avec mission de prendre sur les lieux une connaissance détaillée et complète des travaux exécutés en ce genre dans les divers Etats de l'Union. Un savant capitaine de frégate, M. de Montgery, reçut en même temps l'ordre de se rendre, avec le bâtiment qu'il commandait, dans les divers ports de l'Amérique, et d'y étudier les bateaux à vapeur sous le rapport de leur service nautique et militaire. L'importante mission confiée à M. Marestier porta tous les fruits que l'on attendait de l'expérience et des talents de cet ingénieur. Le travail remarquable qu'il présenta en 1823 à l'Académie des sciences de Paris, sous le titre de : *Mémoires sur les bateaux à vapeur des États-Unis d'Amérique*, fit connaître avec les plus grands détails l'état, à cette époque, de la marine à va-

peur dans les diverses contrées du nouveau monde. L'auteur concluait que ce nouveau système de navigation offrait assez d'avantages pour que l'on en décidât l'adoption immédiate sur les mers et sur les rivières de l'Europe. Les formules pratiques et les renseignements contenus dans son ouvrage fournirent les moyens de construire dans nos usines des bâtiments à vapeur offrant toutes les qualités de ceux qui naviguaient dans les parages de l'Amérique.

En 1835, le nombre des bateaux à vapeur de la Saône doublait; en même temps ils acquéraient une vitesse double de celle qu'ils avaient présentée précédemment. En 1837, M. Cavé construisait sur le haut Rhin les *Aigles* et sur la basse Seine les *Dorades*, pour le service des voyageurs et des marchandises. La Seine recevait en même temps, d'une autre compagnie, de magnifiques bateaux de fer construits au Havre par Normand, et pourvus de machines à vapeur tirées des ateliers de Barnes en Angleterre. C'est le bateau à vapeur la *Dorade* n° 3, qui transporta à Paris en 1840 les cendres de l'Empereur. La plupart de ces bateaux sont employés aujourd'hui sur le Rhône ou la Seine à des services de remorquage. A la même époque, tous les grands ports de mer de la France, et notamment le Havre, possédaient de beaux navires à vapeur pour la traversée de l'Angleterre ou de divers points du continent européen.

En Angleterre, la marine à vapeur avait pris peu à peu et sans bruit un développement immense. Au contraire, on avait complétement négligé en France cette partie si importante des constructions navales, et tandis que la Grande-Bretagne construisait dans ses ateliers des steamers de guerre d'une grande puissance, on ne possédait en France que quelques vapeurs militaires de 100 à 160 chevaux, construits en Angleterre ou à l'usine d'Indret, en France, par M. Jingembre. Le gouvernement décida de donner une impulsion nouvelle à cette partie des constructions maritimes. Un in-

génieur de la marine française, M. Hubert, fut donc envoyé à Liverpool, pour y faire construire une machine de 160 chevaux, destinée à servir de modèle à celles que le gouvernement se proposait d'établir sur les bâtiments de l'État. L'étude des belles machines du *Sphinx*, sorties des ateliers de M. Fawcet, amena de très-importantes améliorations dans notre marine à vapeur. A partir de l'année 1830, le navire et les machines du *Sphinx* furent adoptés comme type dans les constructions de la marine militaire. Les usines royales d'Indret et celles de l'industrie privée permirent dès lors à la France de se passer du secours des ateliers anglais, et les beaux navires à vapeur qui furent affectés peu de temps après au service entre la France et l'Algérie montrèrent toute la perfection que l'on pouvait atteindre parmi nous dans cette branche nouvelle de l'industrie.

On resta fidèle pendant longtemps dans les ateliers de l'État au type de la machine du *Sphinx* dont le modèle existe en réduction dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris et au Musée de la marine au Louvre. Mais en 1842, M. Mimerel, directeur des constructions navales en France, attacha son nom à la création de 12 frégates à vapeur de 450 chevaux, construites sur le type de la machine à basse pression de Watt et munies de balanciers latéraux. Ces machines furent exécutées avec le plus grand succès dans les établissements de MM. Cavé à Paris, Hallette à Arras et dans les ateliers du Creusot, sur un plan étudié dans ce dernier établissement par M. Stéph. Bourdon. Jusque-là, la France avait fait venir ses machines navales des ateliers anglais de Barnes, Miller, Napier, Maudslay, Rennie et Fawcet.

En 1840, on commença à construire en Angleterre de très-forts bâtiments à vapeur pour les voyages transatlantiques et pour la marine militaire. On parvint à donner aux navires de mer ou aux bateaux naviguant sur les rivières, une vi-

tesse de 10 kilomètres à l'heure, qui atteignit bientôt celle de 20, 24 et même 30 kilomètres à l'heure, tout en allégeant le poids des machines motrices.

En 1843, la navigation à vapeur maritime et fluviale fit de nouveaux progrès : 1° par la substitution, qui devint alors générale, des chaudières tubulaires, dites *américaines* ou en *retour de flamme*, à l'ancienne chaudière prismatique ou à *tombeau* de Watt dont on avait fait usage jusque-là d'une manière exclusive ; 2° par les perfectionnements qui résultèrent de l'obligation imposée aux constructeurs d'alléger et de simplifier les machines de navigation ; 3° par l'adoption des machines oscillantes qu'avait heureusement perfectionnées Joseph Penn, constructeur à Greenwich. En Angleterre, le succès des *bateaux à vapeur-omnibus* établis sur la Tamise par Penn et Spiller, et celui des bateaux faisant le service de Gravesend, la vitesse extraordinaire que l'on parvint à donner en Amérique à ces pyroscaphes, ajoutèrent encore à l'essor et à l'impulsion de la navigation par la vapeur.

Deux inventions importantes eurent lieu en France vers 1843 : 1° le service des *bateaux-toueurs* de la Seine, qui a reçu le nom de *touage-Arnoux* et qui consiste à tirer les bateaux au moyen d'une machine à vapeur installée sur un bateau remorqueur, qui se hâle lui-même le long d'une chaîne de fer déposée au fond du fleuve pour la traversée de Paris ; 2° les *bateaux à grappins* de M. Verpilleux, qui, dans les *rapides* du Rhône, remorquent jusqu'à 600 tonnes de marchandises, au moyen d'une roue mue par la vapeur et qui porte un certain nombre de crocs allongés, prenant leur point d'appui au fond du lit du fleuve.

Mais le fait capital que l'histoire de la navigation à vapeur doit consigner pour les années 1844 et 1845, c'est l'adoption dans la marine de toutes les nations, de l'*Hélice* comme agent de propulsion nautique et sa substitution aux roues à aubes.

Nous donnerons plus loin, avec quelques détails, l'histoire des perfectionnements successifs de l'hélice et de son emploi dans la navigation à vapeur.

Le grand mouvement industriel qui s'est produit dans toute l'Europe à partir de l'année 1852, est devenu le point de départ d'un perfectionnement et d'un développement inouïs de la navigation à vapeur dans chaque contrée des deux mondes. Nous ne pourrons qu'indiquer ici en quelques lignes les faits principaux qui ont été la conséquence de l'extension générale qu'a reçue à cette époque ce mode de navigation. On peut les résumer comme il suit :

1° Emploi des bateaux à vapeur dans la navigation sur les canaux. L'adoption des *steamboats* sur les canaux avait été longtemps repoussée et non sans motifs, par suite de la détérioration qu'éprouvaient les bords et la berge des canaux, par l'effet de la forte agitation imprimée à l'eau. Les perfectionnements apportés aux machines et leur appropriation à ce cas spécial, ont permis d'employer sur les canaux, sans le moindre inconvénient, le nouveau mode de propulsion. Nous signalerons en particulier, sous ce rapport, les bateaux à deux hélices placées à l'arrière, de MM. Cadiat, Baudu, Mazeline, Gauthier, Cavé, les *monoroues* placées à l'arrière, et les bateaux à deux roues placées à l'arrière, et construits par M. Gâche (de Nantes).

2° La construction en France, en 1855, de la *Bretagne*, vaisseau à hélice de 1200 chevaux, suivie de la construction de dix autres vaisseaux de 1000 chevaux chacun, construits sur le modèle de la *Bretagne*. Le *Napoléon*, lancé au Havre en 1849, et dû à Dupuy-de-Lôme et Moll, avait donné le signal en France de ce mode de construction des navires de haut rang.

3° Navires à vapeur destinés au service régulier de transports transatlantiques. Ces *steamers*, de la force de 500 che-

vaux, ont été construits aux Etats-Unis par Hallen, à Glasgow par Napier, en France dans les chantiers de la Compagnie des messageries impériales, pour aller régulièrement de France ou d'Angleterre à New-York.

4° Emploi de la vapeur, non-seulement comme moyen de propulsion du navire, mais pour opérer toutes les manœuvres du bord (1).

5° Solution du problème de la navigation directe et sans transbordement de Paris à Londres, c'est-à-dire de la construction de navires à vapeur pouvant naviguer indifféremment en mer et sur les rivières par les basses eaux. Après diverses tentatives plus ou moins heureuses, ce problème a été résolu par MM. Gâche et Guibert, de Nantes, avec les bateaux qui ont reçu le nom de *Paris et Londres* et qui font un service régulier de transports de marchandises sans arrêt ni transbordement entre ces deux capitales.

6° Puissance énorme assignée aux machines de bateaux de rivières. On trouve aujourd'hui sur le Rhône des bateaux dus aux ingénieurs du Creusot et à divers armateurs, qui sont mus par des machines de 600 chevaux de force, et portent près de 600 tonnes dans leur coque, longue de 150 mètres et ne calant que 1 mètre d'eau. De 1853 à 1855, MM. Arnaud, Corrady et Carsenac ont installé sur le Rhône les bateaux *l'Avant-garde*, *le Belot* et *l'Express* de 200 à 500 chevaux de force, qui rivalisent de vitesse avec les trains-omnibus du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée. En Angleterre, Penn est même parvenu à donner au yacht le *Fairy* la vitesse de 14 nœuds.

7° Apparition sur les fleuves de l'Amérique de véritables palais flottants, calant moins de 2 mètres d'eau, élevés de 3 ou 4 étages, contenant plus de 1200 personnes et 1000 tonnes de marchandises. Ces vaisseaux géants pourvus de ma-

(1) Voyez un mémoire sur ce sujet publié dans le *Mechanic's Magazine*, en juillet 1854, par le capitaine Shuldam.

chines de la force de 2000 chevaux atteignent jusqu'à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure.

8° Enfin, lancement fait au mois de février 1858, en Angleterre, du fameux navire *le Leviathan*, destiné au service des mers de l'Océanie, steamer-monstre, pourvu d'une machine de 3000 chevaux et du port de plus de 20,000 tonnes. Cette merveille ne sera peut-être pas la dernière de celles qui seront dues à l'art de la navigation par la vapeur.

Ici se termine l'histoire de la création et des développements successifs de la vapeur appliquée à la navigation sur les rivières et les mers. Il nous a paru nécessaire d'exposer avec quelques développements les progrès et les perfectionnements successifs de cette invention admirable qui a déjà rendu aux hommes de si importants services, qui est appelée à recevoir dans l'avenir une extension dont il est impossible aujourd'hui de prévoir les limites, et dont la découverte réunira dans l'admiration commune de la postérité les noms de Papin, de Watt et de Fulton.

CHAPITRE VII

Description des machines à vapeur employées à bord des bateaux et des navires. — *Moyens divers de propulsion.* — Les roues à aubes. — L'hélice. — Histoire des perfectionnements successifs de l'hélice appliquée à la propulsion des navires. — Paucton. — Delisle. — Bushnell. — Charles Dallery, H. Smith. — Sauvage. — Ericsson. — Adoption générale de l'hélice. — *Différents types de machines à vapeur employés dans la navigation.* — Les chaudières des machines de navigation.

Après l'historique qui précède, il nous reste à présenter le tableau des moyens qui servent aujourd'hui à appliquer la

force motrice de la vapeur à la navigation. Nous considérerons successivement : 1° les moyens de propulsion ; 2° les machines à vapeur qui servent à mettre en action ces agents propulseurs.

MOYENS PROPULSEURS.

Depuis le jour où l'on s'est proposé de faire mouvoir une embarcation par la force de la vapeur, on a mis en usage ou l'on a imaginé un grand nombre de systèmes différents pour agir au sein du liquide par cette force motrice.

Le *système palmipède*, qui consiste à employer des rames s'ouvrant et se fermant d'une manière successive par l'effort de résistance de l'eau, a été, comme nous l'avons vu, essayé l'un des premiers. A l'origine de la navigation par la vapeur, il était naturel que l'on cherchât à imiter le mécanisme des rames ordinaires, mises en mouvement par la main des hommes. Le bateau palmipède du marquis de Jouffroy, qui navigua sur la Saône, en 1783, fut la réalisation de cette idée. Elle a été reprise à cette époque par le fils du marquis de Jouffroy ; mais l'expérience a montré, ce que la théorie permettait d'ailleurs de pressentir, que l'action mécanique intermittente qui résulte du mouvement alternatif des rames, ne peut l'emporter, dans aucun cas, sur l'effet continu que procurent les roues à aubes.

Le *système Bernouilli*, qui consiste à refouler à l'arrière des masses d'eau puisées à l'avant, et à faire avancer le bateau par la réaction qui résulte du refoulement de l'eau sous la quille, a été essayé plusieurs fois aux États-Unis et en Angleterre. C'est avec ce système que James Rumsey expérimentait à Londres, en 1789, et les résultats obtenus, en ce qui concerne l'agent propulseur, n'avaient rien de désavantageux. Le même système a été soumis dans notre siècle à différents essais, dont quelques-uns ont échoué; mais la réussite de l'hélice, agent de propulsion analogue au précé-

dent, les résultats avantageux tout récemment obtenus en appliquant la turbine comme moyen propulseur des bateaux à vapeur sur les rivières et les canaux, tous ces faits montrent suffisamment que le *système Bernouilli*, c'est-à-dire le refoulement de l'eau sous la quille par une pompe foulante mue par la vapeur, mérite d'être soumis à de nouvelles tentatives qui seraient peut-être couronnées d'un grand succès.

Les *chaînes sans fin* munies de palettes, et destinées à former comme une sorte de longue roue occupant une grande partie de la longueur du bateau, furent essayées en France par Desblancs et par Fulton; mais l'expérience démontra toute l'insuffisance de ce moteur pour atteindre la vitesse exigée.

Les moyens de propulsion que nous venons d'énumérer sont aujourd'hui abandonnés ; les seuls dont on ait tiré jusqu'ici un parti considérable dans la pratique, sont les *roues à aubes* et l'*hélice*. Étudions rapidement chacun de ces agents propulseurs.

Les roues dont on fait usage dans la navigation par la vapeur, sont toujours au nombre de deux ; on les dispose de chaque côté et un peu en avant du centre de gravité du bateau. Elles portent, à leur circonférence, un certain nombre d'*aubes* ou *palettes* de bois, attachées par des crochets de fer aux rayons de moyeux de fonte fixés sur l'arbre tournant de la machine à vapeur. Le nombre de ces aubes varie suivant la circonférence de la roue; il doit être tel qu'il y en ait toujours trois d'immergées; elles doivent plonger de 8 à 10 centimètres dans l'eau. Leur surface est d'autant moins grande que le bateau est destiné à une marche plus rapide. La vitesse imprimée aux roues à aubes par la machine à vapeur doit être supérieure à celle du bateau qu'elles font mouvoir, puisque, avançant elles-mêmes avec le bateau, elles ne peuvent agir qu'en vertu de la différence des deux vitesses.

L'expérience a établi que, pour qu'elle réalise le maximum d'effet, la vitesse des aubes doit être d'environ un quart supérieure à celle du bateau.

Les roues des premiers *steamers* furent presque en tout semblables à celles que nous voyons fonctionner dans les usines hydrauliques. On les installait en différentes positions, mais presque toujours latéralement, à un tiers de la longueur du navire en partant de l'avant. En Amérique, et plus tard en France, sur la Saône et sur la Seine, on vit des bateaux à vapeur dont les roues se trouvaient placées soit à l'avant, soit à l'arrière. Cette disposition ne faisait rien perdre de l'effet utile du moteur, et le bateau, diminué de toute la largeur des tambours qui environnent la roue, franchissait plus aisément les passages étroits et le chenal des rivières, souvent très-rétréci dans les basses eaux. La *Charlotte Dundas* de William Symington avait sa roue motrice unique placée à l'avant du bateau. On s'est également servi d'une roue unique, placée au milieu du bateau qu'elle divisait ainsi en deux. A l'époque des premiers essais de navigation par la vapeur, ce mode d'installation de la roue fut adopté en Ecosse par Patrick Miller et Symington, comme nous l'avons rapporté. C'est encore de cette manière que se trouvait placée l'immense roue à aubes de la frégate de guerre *le Fulton Ier*, construite par Fulton pour la défense du port de New-York. Mais ce dernier système d'installation de la roue ne constitue aujourd'hui qu'une exception des plus rares ; il ne présenterait d'avantages que dans le cas où la voie navigable serait d'une très-petite largeur, comme dans les canaux.

A mesure que les bâtiments à vapeur se multiplièrent, on reconnut divers inconvénients aux moyens trop simples que l'on avait adoptés pour la disposition des roues. Chaque palette d'une roue n'agit avec tout son effet utile que lorsqu'elle est perpendiculaire au liquide qu'elle frappe. En entrant

dans l'eau et en se relevant pour en sortir, elle n'exerce son action que suivant une ligne oblique; elle perd ainsi une partie de sa force qui se trouve employée sans utilité à pousser le liquide en avant quand elle s'enfonce, ou à le projeter en arrière quand elle se relève. Ces pertes de force s'accroissent avec la vitesse imprimée aux roues.

Pour remédier à la perte de force qui résulte du soulèvement de l'eau au moment où la palette sort du liquide, on a imaginé différents systèmes qui se réduisent tous à rendre les aubes mobiles sur leur axe, de manière à les obliger d'entrer dans l'eau et d'en sortir sous une inclinaison toujours avantageuse à l'effet moteur. Un système de ce genre, imaginé par M. Cavé, a été adopté en France sur plusieurs navires de la marine militaire. Des bielles et un excentrique font pivoter chacune des aubes, de manière à les maintenir dans une situation verticale pendant toute la durée de leur immersion, et à leur donner, au moment de leur sortie du liquide, une position horizontale, afin qu'elles présentent à l'air le moins de résistance possible. Outre son avantage pour l'accroissement de l'effet moteur, cet ingénieux mécanisme permet d'éviter aux roues, et par suite aux machines, les violentes secousses que provoque le choc des lames lorsque celles-ci viennent frapper les roues du bateau à l'instant de leur sortie du liquide. En Angleterre, on fait usage, pour atteindre le même but, d'un système particulier que l'on désigne sous le nom de *système Morgan*. Il est fondé sur les mêmes principes que celui de M. Cavé. Mais nécessitant un mécanisme très-compliqué, il est sujet à beaucoup de dérangements. Les frottements qui résultent du grand nombre d'engrenages qu'il exige, absorbent une force presque aussi considérable que celle dont on cherche à éviter la perte.

Les roues à aubes constituent un moyen à peu près irréprochable pour appliquer la puissance de la vapeur à la navi-

gation sur les fleuves ou les rivières; mais elles présentent des inconvénients très-graves dans la navigation sur mer. Le roulis du navire a souvent pour effet d'élever une des roues hors de l'eau en immergeant la roue opposée; dès lors la roue la plus élevée tourne à vide, ce qui produit des variations très-nuisibles à la machine. Comme la résistance ne s'exerce plus que sur l'une des roues, on est obligé d'affaiblir l'intensité de la force motrice en diminuant l'entrée de la vapeur dans les cylindres, et la force de la machine se trouve ainsi atténuée au moment où, au contraire, son maximum d'effet serait souvent nécessaire. En outre, le tambour qui environne les roues offre une large surface à l'action du vent, ce qui diminue la vitesse du navire. Sur les navires de guerre, les roues sont librement exposées à l'atteinte des boulets, et cette circonstance suffit pour leur ôter presque toute valeur au point de vue militaire. Enfin, les roues sont un obstacle à ce que l'on puisse se servir à la fois de la vapeur et des voiles, car l'emploi de la vapeur exige que le bâtiment se maintienne toujours à peu près dans une ligne verticale; or les voiles ont pour résultat de le faire incliner sur son axe, ce qui met obstacle à l'action régulière de la machine.

La pratique mit promptement en évidence les inconvénients qui résultent de l'emploi des roues à aubes dans la navigation maritime. Aussi depuis l'adoption générale de la vapeur comme agent de propulsion nautique, un grand nombre de mécanismes différents furent-ils proposés pour remplacer les roues. Cependant aucun d'eux n'avait fourni de résultats satisfaisants, et la supériorité des roues semblait une question définitivement jugée, lorsque, en 1839, un constructeur anglais, M. Smith, appliqua à un navire à vapeur une *hélice* ou *vis d'Archimède*, comme moyen de propulsion. Les résultats remarquables fournis par ce nouveau moteur excitèrent au plus haut degré l'attention des hommes de l'art, et des expé-

riences ultérieures ayant confirmé ces premiers résultats, ce système a fini par devenir d'un emploi général dans la navigation maritime.

En quoi consiste l'hélice employée comme agent moteur des navires, et comment peut-on, en théorie, se rendre compte de ses effets? L'hélice n'est autre chose que la vis ordinaire, et la théorie de son action est la même que celle de ce dernier instrument (1). Concevons que l'on dispose horizontalement à l'avant d'un bateau et dans le sens de sa longueur, une vis pouvant tourner librement sur son axe; si l'on engage l'extrémité de cette vis dans un écrou fixe, maintenu dans une position invariable par rapport au sol environnant, quand on viendra à imprimer à la vis un mouvement rapide de rotation, elle avancera dans l'écrou et entrainera par conséquent le bateau auquel elle est fixée. L'hélice de nos bateaux fonctionne de la même manière, seulement l'écrou fixe est remplacé par l'eau. Quand on fait tourner une hélice au milieu de l'eau avec une grande rapidité, l'eau environnante se trouve mise en mouvement avec la même vitesse, et par suite de la réaction qu'elle exerce sur les faces inclinées de l'hélice, elle imprime au bateau un mouvement de progression qui est d'autant plus rapide que l'hélice tourne plus vite.

L'idée d'appliquer la vis d'Archimède à la navigation est déjà fort ancienne. Rappelons en quelques mots les tentatives nombreuses qui ont été faites jusqu'à nos jours dans cette direction.

L'hélice qui a été employée depuis l'antiquité à divers usa-

(1) L'invention de la vis est attribuée à Archytas, qui vivait environ 430 ans avant J.-C; il est cependant probable qu'elle est d'une origine plus ancienne. Archimède revêtit la vis d'une enveloppe et la consacra à l'élévation des eaux. On sait que ce moyen fut employé en Égypte pour le desséchement des terres après les débordements du Nil.

ges mécaniques, n'a été proposée pour la première fois pour la propulsion des navires qu'en 1752, par Daniel Bernouilli qui, dans son Mémoire couronné par l'Académie des sciences, et dans son *Hydrodynamique*, fit connaître, avec plusieurs autres procédés de navigation, un moyen de faire avancer les navires, consistant à faire tourner rapidement au milieu de l'eau une sorte d'aube de moulin à vent dont la forme différait peu de celle de l'hélice employée de nos jours (1).

Pendant les nombreuses expériences que Du Quet fit à Marseille et au Havre de 1687 à 1693, sur les agents de propulsion propres à remplacer les rames, il ne manqua pas d'étudier l'hélice proposée par Bernouilli ; mais il ne put en retirer aucun résultat avantageux.

En 1768, un ingénieur français nommé Paucton proposa, dans un ouvrage sur la théorie de la vis d'Archimède, de remplacer les rames par des hélices (2). Il proposait de placer deux hélices qu'il nommait *ptérophores*) à l'arrière et de chaque côté du navire, dans une situation horizontale et dans le sens de sa longueur. Paucton fait ressortir, dans son livre, les inconvénients qui résultent, pour l'emploi de la force motrice, du mouvement alternatif des rames, et il essaie de démontrer que des hélices disposées sous la quille

(1) Voyez pour l'historique complet des essais très-divers et très-nombreux faits pour appliquer l'hélice à la navigation, les ouvrages suivants : Mémoires de M. Léon Duparc (*Annales maritimes*, 1842, t. II, p. 885); *Recueil des machines*, par Armengaud, 23 ; *Mémoires sur les propulseurs*, par le capitaine Labrousse ; *Traité des propulseurs*, de Galloway, traduit par Labrousse ; *Mémoire sur la navigation aux États-Unis*, par Marestier; *Treatise on the Screw Propeller*, par Bourne; *Id.*, par Tredgold, nouvelle édition ; *Rudimentary Treatise on the Marine Engine*, par R. Murray; Mémoire de MM. Moll et Bourgeois ; enfin et surtout le *Traité de l'hélice propulsive*, par le capitaine Paris, qui a placé en tête de son livre la traduction d'une notice historique sur l'hélice tirée de l'ouvrage anglais de Bourne.

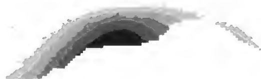
(2) *Théorie de la vis d'Archimède, de laquelle on déduit celle des moulins conçue d'une nouvelle manière*, par M. Paucton. Paris, 1778.

donneraient des résultats bien supérieurs. Cependant les idées de Paucton ne frappèrent que médiocrement l'attention.

En 1777, l'Américain David Bushnell avait adapté une hélice au bateau-plongeur dont il est l'inventeur. Ce bateau s'enfonçait en se remplissant d'eau ; pour remonter à la surface, on évacuait cette eau à l'aide d'une pompe aspirante. Pour diriger sous l'eau son embarcation, Bushnell employait un âviron en forme de vis, qu'il plaçait horizontalement sous la quille ; cette sorte d'hélice faisait marcher le bateau d'avant en arrière. Un second aviron placé verticalement à la partie supérieure du bateau régularisait son immersion et le maintenait à la hauteur désirée, indépendamment de la quantité d'eau admise dans le réservoir. Ce moyen de direction fut plus tard imité par Fulton, dans ses embarcations submersibles.

La découverte de la navigation par la vapeur vint donner beaucoup d'intérêt aux travaux exécutés jusqu'à cette époque sur l'hélice. Un grand nombre d'essais nouveaux furent dès lors entrepris dans cette direction. La plupart de ces recherches, restées sans résultat pratique, ont peu d'importance aujourd'hui, et nous les passerons sous silence.

Cependant, parmi ces tentatives demeurées sans résultat, et qui furent entreprises au commencement de notre siècle, pour appliquer l'hélice à la navigation, il en est une qui, à divers égards, mérite d'être distinguée. Nous voulons parler des essais faits à Paris en 1803, par Charles Dallery. L'histoire ne doit pas exclusivement ses hommages aux génies heureux que le succès couronne. Ceux qui ont préparé le triomphe d'une œuvre utile à l'humanité ont droit aussi à notre reconnaissance, et l'intérêt que leur souvenir éveille est, en quelque sorte, plus tendre : il nous appartient de consoler leur mémoire du triste concours de circonstances qui paralysa leurs efforts. Donnons un souvenir, le jour de la



récolte, au laboureur ignoré qui traça le sillon pénible et ne vit point fleurir la moisson.

Entre ces inventeurs malheureux dont les efforts se sont brisés devant le hasard et l'inopportunité des temps, Charles Dallery, né à Amiens le 4 septembre 1754, mort à Jouy en 1835, mérite d'occuper une place à part. Créateur de plusieurs inventions remarquables, il fut toujours méconnu pendant sa vie et resta ignoré vingt années après sa mort. Ce ne fut point le génie qui lui manqua, mais cet assemblage fortuit de circonstance que Dieu tient en ses mains et que nous appelons le bonheur.

Fils d'un constructeur d'orgues de la ville d'Amiens, Charles Dallery était, à dix ans, le meilleur apprenti de son père. A douze ans, il fabriquait des horloges de bois d'une précision admirable et il possédait à fond l'art compliqué de la fabrication des orgues d'église. Son intelligence mécanique cherchait partout des occasions de s'exercer. Une harpe s'étant rencontrée sous sa main, il adapta à cet instrument un mécanisme propre à exécuter les demi-tons. S'étant rendu à Paris, il soumit l'instrument ainsi modifié au facteur le plus en vogue. Celui-ci accueille avec empressement la découverte, et place le jeune Dallery à la tête de ses ateliers. Ainsi perfectionnée, la harpe détrône bientôt l'antique clavecin et fixe la mode pour longtemps. Un brevet d'invention fut pris, mais ce fut au nom du fabricant, et le jeune mécanicien, éconduit, dut reprendre le chemin de sa province.

Là, il donna un libre cours à son ardeur créatrice. Il perfectionna la fabrication des orgues et établit le système de soufflerie qui est aujourd'hui appliqué partout. Il apporta aussi d'utiles changements au clavecin. Quand la fièvre des aérostats s'empara de la France, c'est à lui que la cité Amiennoise dut le spectacle des premières ascensions. Vers l'année 1788, il construisit une machine à vapeur, et pour son premier essai il employa la haute pression. Il ne se proposait

rien moins que d'installer cette machine sur une voiture et de l'appliquer à la locomotion sur les routes. Mais cette pensée était trop hâtive ; Dallery le comprit bientôt, et il consacra sa machine à servir de moteur dans ses ateliers.

Un orgue manquait à la cathédrale d'Amiens, ce travail lui fut confié ; les devis s'élevaient à 400,000 francs. Dallery se mit à l'œuvre. Mais la révolution éclate : le temps des orgues était passé, il fallut changer de carrière.

Sans se décourager, Dallery propose à la ville d'Amiens de construire des moulins à vent sur un système nouveau : les ailes tournaient horizontalement. Cette innovation choqua beaucoup la cité picarde, qui, voyant ces roues de moulin tourner comme les chevaux de bois à la foire, appela ce moulin, le *Moulin de la Folie.*

L'inventeur était fier et digne : cette critique lui déplut; il se brouilla avec sa ville natale et la quitta pour n'y plus revenir. Il alla installer sa machine à vapeur chez un industriel de ses amis, fabricant de limes, qui possédait deux usines, l'une à Nevers, l'autre à Amboise. Appropriée à ce nouvel usage, la machine à vapeur mettait en mouvement un martinet du poids de 500 livres et frappait 500 coups par minute, forgeant l'acier et le façonnant en limes ouvragées de toutes manières ; Dallery dirigeait les deux usines.

Mais ce n'était là qu'une bien insuffisante occupation. Quand le travail fut organisé et la tâche terminée, Dallery et le maître de forges se regardèrent en disant :

— Qu'allons-nous faire maintenant?

Il fut convenu que l'on se rendrait à Paris pour y proposer au gouvernement le plan d'un moulin à farine mû par la vapeur. La machine à vapeur était une ressource puissante pour économiser à l'industrie les bras de l'ouvrier qui commençaient à manquer. Or, personne ne songeait encore, en France, à tirer sérieusement parti de la vapeur dans les usines ; les deux associés pouvaient donc compter sur un succès.



Leur calcul était juste, mais ils avaient compté sans la disette.

Le gouvernement avait, en effet, adopté leur plan sans difficulté, et l'on avait installé le moulin à farine dans les bâtiments de l'octroi de Bercy ; on avait même promis une avance de 30,000 francs. Mais ces 30,000 francs n'arrivèrent jamais. En revanche, la disette arriva, et la terreur à sa suite. Notre mécanicien dut redescendre des hautes régions où l'avait élevé ce succès d'un jour. Son courage, néanmoins, ne se démentit pas. Il venait d'appliquer son talent à des créations grandioses, il l'appliqua à des travaux microscopiques. Il se fit horloger et fut le premier à construire en France ces montres de la dimension d'une pièce de 10 sous que l'on portait au doigt sur une bague. Seulement, comme on n'avait jamais rien fait de semblable dans l'art de l'horlogerie, il n'existait point d'outil pour de tels ouvrages, et Dallery dut créer les instruments pour cette nouvelle fabrication, la boîte ovale et jusqu'au tour qui servait à obtenir cette forme.

Mais ces chefs-d'œuvre microscopiques se vendaient fort cher, et personne n'était riche à cette époque. Toutes ces élégantes curiosités n'étaient pas plus de saison que les orgues d'église : Dallery dut chercher une autre manière d'arriver à la fortune.

L'utile conseil d'un ami vint le placer dans cette voie. Il s'agissait de perfectionner les premières façons de l'or employé par les bijoutiers. Dallery créa dans l'orfévrerie une industrie nouvelle, dont il avait le secret et le monopole. Pendant vingt-cinq ans toute la bijouterie d'or de Paris a travaillé avec le *moleté d'or*, le *grené*, le *découpé* de Charles Dallery.

Grâce aux bénéfices qu'il réalisait dans cette obscure existence d'artisan, Dallery put songer à mettre à exécution un projet dont le succès devait faire évanouir tous les ennuis passés et le ramener aux sphères brillantes qu'il avait

perdues : il voulait appliquer l'hélice à la navigation.

Depuis que l'ingénieur Paucton avait proposé, comme on l'a vu plus haut, de remplacer les rames par des hélices, beaucoup d'efforts avaient été tentés pour approprier cet appareil mécanique à la propulsion des bâtiments ; mais personne n'avait encore songé à combiner l'hélice comme agent propulseur, avec l'emploi de la vapeur comme force motrice. Telle était la pensée que Dallery se proposait de réaliser, et c'est surtout en raison de ce fait que les travaux de ce mécanicien nous ont paru dignes d'être rappelés dans cet historique. L'idée d'appliquer la vapeur à faire mouvoir les hélices d'un bateau, distingue, en effet, le projet de Dallery d'une foule de plans analogues conçus et en partie exécutés à cette époque, mais dans lesquels la vapeur, alors à peine connue, n'était pas mise à profit.

Le brevet pris par Dallery porte la date du 29 mars 1803 ; cette date est remarquable, puisqu'elle montre que Dallery exécutait son bateau à hélice, à l'époque et au moment même où Fulton s'occupait, de son côté, à construire son bateau à roues. Ainsi ces deux tentatives sont tout à fait contemporaines, et Dallery n'avait pu rien emprunter à l'ingénieur américain. Bien plus, il l'emportait sur son rival, quant au choix de l'agent propulseur, puisqu'il avait du premier coup choisi le mécanisme que, quarante années plus tard, la marine à vapeur devait adopter.

L'appareil que Dallery se proposait d'employer comme agent propulseur de son bateau, consistait en une hélice simple, à un seul filet et à deux spires de révolution. Elle devait être placée à l'arrière du bateau. Une autre hélice, placée à l'avant, était mobile dans le sens de son axe et pouvait servir de gouvernail. Les deux hélices devaient être immergées au-dessous de la ligne de flottaison et mises en mouvement par une machine à vapeur à deux cylindres.

Mais faisons tout de suite remarquer que les dispositions

mécaniques adoptées par l'auteur de ce projet pour transmettre aux hélices les mouvements des deux pistons de la machine à vapeur, étaient trop défectueuses pour que l'exécution pût répondre à ses espérances. Dallery propose, dans son brevet, de transmettre ce mouvement à l'aide de poulies et de simples cordes. C'était se faire une idée bien inexacte des résistances à vaincre et de la manière de combattre ces résistances (1).

Quoi qu'il en soit, Dallery, confiant dans l'exactitude de ses vues, n'avait pas hésité à jeter toute sa fortune dans cette entreprise. Il avait ramassé 30,000 francs dans son industrie d'apprêteur d'or, il les consacra à la construction d'un bateau qui fut exécuté avec les plus grands soins.

Quant à la machine à vapeur, et au système mécanique destiné à servir d'agent propulseur, ils ne furent montés qu'aux deux tiers, car les fonds manquèrent à l'inventeur pour terminer l'œuvre commencée.

(1) Il est difficile aujourd'hui de connaitre exactement les détails du plan de Dallery. Le brevet d'invention qui lui fut accordé le 29 mars 1803, se trouve mentionné dans le 2e volume, page 206, nº 138 de la *Collection des brevets d'invention*, publiée en 1818, par ordre du ministre de l'intérieur ; mais on se borne à rapporter le titre du brevet. Ce titre est le suivant :

Modèle perfectionné appliqué aux voies de transport par terre et par mer.

Si l'on cherche l'explication de ce laconisme dans la citation du recueil officiel, on la trouve dans une note placée en tête de l'ouvrage. Voici cette note :

« Nous n'avons fait qu'indiquer, dans ce recueil, le titre des brevets « dont l'objet est une conception chimérique que l'expérience a jugée, « ou une chose que tout le monde connait, ou que personne n'a envie « de connaitre. »

Le projet de Dallery a donc été jugé avec défaveur à l'époque où il s'est produit. On ne peut s'empêcher de reconnaître que cette défaveur était justifiée sur plus d'un point. Mais il ne faut pas oublier, d'un autre côté, que ce projet a été conçu en 1803, c'est-à-dire à une époque où la navigation par la vapeur en était à peine à ses débuts, et que la pratique aurait sans doute amené l'auteur à faire disparaître les défectuosités de son système.

Dans sa détresse, Dallery eut recours au ministre. Il montra ses plans, l'état où le travail en était resté, et le misérable obstacle qui le séparait du succès. Un léger secours lui aurait permis d'atteindre au but et peut-être d'assurer à la France l'honneur que l'Amérique allait lui ravir.

Mais toutes ses démarches furent inutiles; livré à ses propres forces, il fut contraint de s'arrêter.

Quelques jours après, le bateau de Fulton, armé de ses roues, passait, triomphant, devant son malheureux rival, et faisait son premier essai sur cette rivière même de Bercy à Charenton où flottait le bateau inachevé de Charles Dallery.

Lorsque Fulton, dédaigné de tous, eut transporté en Amérique l'invention que la vieille Europe avait repoussée, Charles Dallery poursuivit encore de ses inutiles sollicitations le gouvernement et ses ministres. N'ayant rien obtenu, il se rendit un matin aux bords de la Seine, et donnant l'ordre et l'exemple à ses ouvriers, il prit un marteau et mit son bateau en pièces. Ensuite il reprit son humble travail d'apprêteur d'or. Quant à son brevet, il le laissa expirer au ministère de la marine, où personne ne s'en inquiéta jamais.

Dallery est mort à l'âge de quatre-vingt-un ans, à Jouy, près de Versailles, où tout le monde l'a connu. C'était un beau vieillard, aux grandes manières. Majestueux dans sa tenue, toujours poudré à blanc et en cravate blanche, il parlait peu, ne riait jamais et était d'une dignité royale (1).

(1) C'est grâce aux efforts persévérants de son gendre, M. Chopin-Dallery, que les travaux de Charles Dallery ont été préservés de l'oubli qui les menaçait. M. Chopin a publié une brochure de 20 pages in-8, ayant pour titre : *L'hélice appliquée aux bateaux et aux voitures à vapeur, mémoire explicatif sur le brevet d'invention Dallery obtenu le 29 mars* 1803. Ce travail a été présenté à l'Académie des sciences le 25 mars 1844, et une commission composée de MM. Arago, Ch. Dupin, Pouillet et Morin, a reconnu, dans un rapport, les droits de Dallery aux inventions spécifiées dans ce mémoire. Mais combien n'y a-t-il pas, au-

Après Dallery, beaucoup de mécaniciens ont essayé de mettre en mouvement, par l'action de la vapeur, une ou plusieurs hélices disposées de différentes manières sous la ligne de flottaison d'un bâtiment ou d'un bateau de rivière; mais aucune de ces tentatives ne réussit et leur insuccès jeta beaucoup de défaveur sur ce système. Ce n'est qu'en 1823 que les préventions qui régnaient chez les constructeurs contre l'emploi de l'hélice, furent en partie dissipées par les remarquables travaux qu'exécuta en France le capitaine du génie Delisle.

Toutes les tentatives faites jusqu'à cette époque pour appliquer l'hélice à la navigation, avaient complétement échoué; on s'accordait donc alors à condamner son usage d'une manière absolue. M. Delisle démontra, dans le beau travail qu'il entreprit à cette occasion, la vérité de la thèse contraire. Il s'efforça d'établir, par le calcul, la supériorité de ce système sur celui des roues à aubes, et proposa de disposer sous la quille des navires deux hélices à trois pas de vis, placées l'une à l'avant, l'autre à l'arrière. Il fit même la proposition formelle de substituer des hélices aux roues à aubes sur les navires de la marine militaire. Le ministère de la marine rejeta le projet du capitaine Delisle, qui était cependant presque identique avec celui que M. Éricsson employait avec succès, huit années après, en Angleterre.

En 1843, un constructeur de Boulogne, Frédéric Sauvage, continua les recherches du capitaine Delisle. Les longs et persévérants travaux qu'il exécuta mirent hors de doute les avantages de l'hélice comme propulseur sous-marin. C'est surtout à Sauvage qu'est due la démonstration de ce fait important, que, pour produire son maximun d'effet, la vis doit être réduite à la longueur d'une seule révolution. Ce-

tour de nous, de ces Dallerys ignorés, et qui le seront à jamais, faute d'un gendre !

pendant, malgré vingt années d'efforts, il ne put parvenir à exécuter des essais sur une échelle suffisante pour établir d'une manière irrécusable la vérité de ses assertions.

Ruiné par ses recherches, vieux et malade, Sauvage fut arraché à la misère par le roi Louis-Philippe, qui lui accorda une pension en 1846; mais il fut atteint, en 1854, de la maladie du Tasse. Recueilli à cette époque par l'ordre de l'Empereur, dans la Maison de santé de la rue Picpus, à Paris, il y passait son temps entre son violon et une volière d'oiseaux. Frédéric Sauvage est mort en 1857.

Pendant que Frédéric Sauvage poursuivait ses travaux en France, un grand nombre d'autres constructeurs exécutaient, en Angleterre et aux États-Unis, des recherches du même genre. MM. Éricsson, Beyre, Napier, Blaxman et Timothy, se distinguèrent particulièrement dans cette voie. Pendant les années 1836 et 1838, M Éricsson soumit à des essais très-variés un système propulseur composé de deux hélices, qui ne différait que très-peu de celui de notre compatriote Delisle. Ces tentatives ayant été jugées, en Angleterre, avec beaucoup de faveur, le système de M. Ericsson fut définitivement appliqué à un petit bâtiment, le *Francis-Ogden*, qui fut soumis, comme remorqueur, à différents essais. A la même époque, parut le système de M. Smith, qui ne différait que fort peu de celui de F. Sauvage. Plus heureux que notre compatriote, le constructeur anglais réussit à obtenir la formation d'une société qui prit le titre de *Compagnie de propulsion par la vapeur*. Cette compagnie fit construire, pendant les années 1838 et 1839, un grand et beau navire, l'*Archimède*, qui fut consacré à étudier l'hélice d'une manière définitive dans les conditions de la grande navigation. Des expériences comparatives, prolongées pendant plus d'une année, ayant fait reconnaître toute l'utilité de ce système, la compagnie propriétaire du magnifique steamer *le Great-Britain*, dont nous avons plus

haut rappelé l'origine, arma ce navire d'une hélice, d'après les plans de MM. Smith et Rennie.

En 1847, le *Ruttler*, navire construit par la même compagnie pour étudier l'emploi de l'hélice dans la navigation, se trouvait dans le port de Boulogne, et le commandant de ce navire se livrait dans ce port à des essais comparatifs de vitesse avec des navires à roues du même tonnage. On assure que Frédéric Sauvage, en prison pour dettes, assistait, de l'une des fenêtres de sa prison, aux essais, faits par les ingénieurs anglais, du système qu'il avait tant étudié et qu'il n'avait pas été assez heureux pour voir mettre en pratique. On conçoit sans peine qu'un pareil spectacle ait pu égarer la raison du malheureux mécanicien (1).

(1) En 1842, F. Sauvage, adressa à l'Académie des sciences un mémoire sur l'application de l'hélice à la navigation. Il demandait, dans ce mémoire, à être autorisé à répéter devant une Commission de l'Académie, ses expériences sur la prééminence que l'hélice simple présence sur l'hélice à plusieurs filets. Un rapport fut fait sur ce mémoire, par MM. Séguier, Poncelet, Combes et Piobert. M. Séguier, rapporteur, disait dans ce travail : « La France, qui a vu naître en 1775, à Baume-« les-Dames, l'invention de la navigation à vapeur, due au génie de l'un « de ses enfants, le vieux marquis de Jouffroy, qui, le premier, a fait « naviguer avec succès un grand bateau, à l'aide de la vapeur, aura en-« core l'honneur de voir naître chez elle ses plus importantes modifica-« tions. Aujourd'hui, nous venons un instant réclamer votre bienveil-« lante attention en faveur d'expériences tentées par un ex-constructeur « français de Boulogne-sur-Mer, devenu mécanicien fort ingénieux. Vous « trouverez, messieurs, quelque opportunité dans la demande que vous « a adressée M. Sauvage, de répéter sous les yeux d'une commission, « avec des modèles construits à l'échelle, les expériences auxquelles il « s'est déjà livré plus en grand, si nous vous disons qu'en ce moment « même des ingénieurs anglais importent en France les mêmes idées « dont M. Sauvage a pris le soin de se garantir la propriété par un « brevet pris à une époque déjà assez reculée. M. Sauvage trouve « que la puissance de son hélice, comparée à celle des autres d'une « construction différente, est plus grande dans le rapport de 20 ou 18 « à 14. Il est jaloux d'assurer à la France la priorité d'une application « qu'il a lui-même portée à un degré de perfectionnement supérieur à « celui atteint par ses concurrents. » Mais F. Sauvage ne put obtenir d'aller répéter à Paris, sous les yeux d'une commission académique, les

D'après M. Charles Dupin, qui a discuté ce point dans son *Rapport sur l'Exposition de Londres de* 1851, M. Smith, qui n'était qu'un simple fermier à Middlesex, aurait la priorité sur Frédéric Sauvage, dont il aurait devancé de quatre ans le projet, car les expériences faites en 1842 avaient été précédées, comme nous l'avons dit plus haut, d'essais faits par M. Smith, en 1838 et 1839, sur la Tamise et le canal de Paddington. Ce qui est certain, c'est que les Anglais regardent Smith comme l'inventeur de l'hélice appliquée à la navigation, et que ce dernier a reçu à ce titre une récompense nationale.

On peut dire, pour résumer cet exposé historique, que l'idée théorique de l'emploi de l'hélice dans la navigation appartient à Daniel Bernouilli, à Paucton et au capitaine français Delisle, et que la première application *réussie* de l'hélice sur un navire appartient à Smith et Rennie. Ce sont les résultats obtenus par ces derniers constructeurs dans la grande navigation qui ont décidé l'adoption, devenue plus tard générale, de l'hélice dans la navigation.

En France, le premier paquebot à vapeur qui ait été muni d'une hélice propulseur, c'est le *Napoléon*, qui fut construit au Havre en 1843, par M. Normand. Ce bateau à vapeur, qui porte aujourd'hui le nom de *Corse*, était muni d'une machine à vapeur de 120 chevaux, fournie par M. Barnes, de Londres; l'hélice avait été construite par Nulls (du Havre). Il ne faut pas confondre ce bâtiment avec le vaisseau de MM. Moll et Dupuy-de-Lôme, qui porte le même nom de *Napoléon*, et qui, lancé en 1849, a fait époque dans l'histoire de la navigation par sa puissance et la réunion de ses qualités nautiques.

C'est à partir de l'année 1843 que les avantages de la vis

expériences que les ingénieurs anglais exécutaient dans le même moment et sur le même objet au milieu d'un port français.

d'Archimède, comme moyen de propulsion maritime, mis entièrement hors de doute, ont rendu son emploi à peu près général dans les navires à vapeur destinés au service de la mer.

La simplicité extrême de l'hélice comme propulseur sous-marin nous permettra de réduire sa description à un petit nombre de détails.

On a beaucoup hésité sur les dimensions à donner à la vis d'Archimède, pour en obtenir le maximum d'effet. Après avoir fait usage de l'hélice triple, double, etc., on a reconnu que la vis formée d'une seule révolution est celle qui réunit les conditions les plus avantageuses. La figure 30 représente l'hélice telle qu'elle est aujourd'hui employée par nos constructeurs. Elle se compose, comme on le voit, d'une seule révolution de vis. Quant à ses dimensions, elles dépendent de celles du navire et sont liées à ce dernier élément par des formules et des règles pratiques dont l'expérience a constaté l'exactitude. Les hélices sont habituellement en fer ; cependant le cuivre convient mieux pour leur construction, parce qu'il résiste plus longtemps à l'action corrosive de l'eau de la mer.

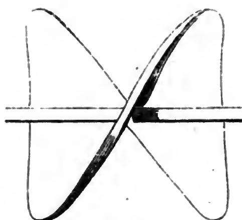


Fig. 30.

L'hélice est toujours placée bien au-dessous de la ligne de flottaison du navire, afin que dans aucune circonstance l'agent propulseur ne puisse se trouver élevé hors du liquide sur lequel il agit. On l'installe à l'arrière, dans un espace libre ménagé sous la quille et dans le plan vertical qui passe par l'axe du bateau. Elle se trouve ainsi à une petite distance en avant du gouvernail. La figure 31 a pour but de montrer l'installation de l'hélice sous le bâtiment. A est l'hélice vue dans la position où elle fonctionne, B le gouvernail du navire.

L'hélice est disposée, comme on le voit, dans un espace laissé libre sous la quille du navire, et dans le plan de son axe vertical. Tenue entre deux tourillons fixes, elle tourne

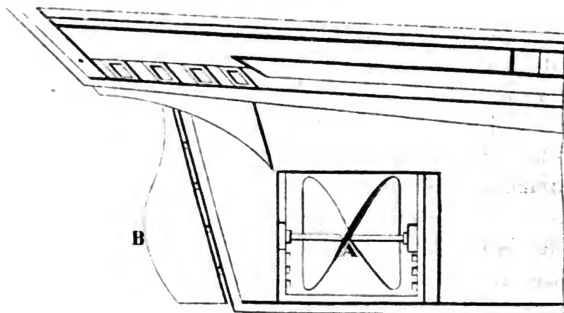


Fig. 31.

dans cet espace, en recevant son mouvement de l'arbre de la machine à vapeur, auquel elle est liée par une courroie ou par des engrenages. Sa vitesse de rotation est très-considérable : elle est habituellement de 240 tours par minute.

Indiquons rapidement les avantages et les inconvénients qui se rattachent à l'emploi de l'hélice dans la navigation par la vapeur. Ses avantages principaux peuvent se résumer ainsi :

1° L'agent propulseur du navire est à l'abri de l'atteinte des boulets et des divers projectiles, de la chute des mâts et des diverses causes d'accidents de ce genre de nature à l'endommager.

2° La suppression des roues, diminuant la largeur du bâtiment, lui donne plus de facilité pour entrer dans un port, dans un bassin, etc., ou pour manœuvrer parmi d'autres embarcations.

3° Le navire offrant moins de prise au vent, par suite de l'absence des tambours qui environnent les roues, la vitesse de sa marche se trouve accélérée.

4° La vis, toujours immergée, quel que soit le degré d'inclinaison que prenne le navire par l'action du vent ou le mouvement du roulis, acquiert, dans ces circonstances, une puissance égale et souvent supérieure à celle des roues.

5° L'espace occupé par les roues sur un bâtiment de guerre devenant libre, on peut établir des batteries dans toute sa longueur.

6° Les navires à hélice, présentant la même forme que les navires à voiles, peuvent être plus rapidement convertis en bâtiments à voiles. Or, si l'on peut suspendre par intervalles l'action de la vapeur et ne l'employer que par les temps de calme ou par les vents contraires, on réalise sur le combustible une économie considérable.

7° Enfin, comme l'hélice est mise en action par des machines à vapeur qui n'occupent qu'un faible espace, les bâtiments de commerce qui en sont pourvus peuvent disposer, pour les marchandises, d'un emplacement plus considérable.

Ces avantages si remarquables sont en partie contre-balancés par quelques inconvénients qu'il nous reste à énumérer. Le premier, et le plus grave, consiste dans l'infériorité de vitesse que présentent les navires à hélice sur les bâtiments à roues, dans les conditions de la navigation ordinaire. Cette infériorité relative dans la vitesse provient de ce que le mouvement de la vis au sein de l'eau amène nécessairement une perte de force mécanique, perte plus grande que celle qui résulte de l'emploi des roues. L'hélice exerce sur l'eau un double mouvement; elle la pousse d'arrière en avant et sur les côtés. Ce dernier effet est perdu pour la progression. La force nécessaire pour le produire est donc dépensée en pure perte. Aussi a-t-on reconnu que dans un temps calme, la vitesse d'un navire à hélice est inférieure des douze centièmes environ à celle d'un bateau à roues. Il faut remarquer seulement que, dans les navires à hélices, la perte de force qui provient de l'agent moteur est un élément constant qui

ne s'accroît dans aucune circonstance ; au contraire, celle qui résulte, dans les bâtiments à roues, de l'élévation de l'appareil moteur hors du liquide, par suite du mouvement de la mer, augmente souvent dans des proportions dont il est impossible de tenir compte ; de sorte que, tout considéré, la vitesse devient presque la même avec l'un ou l'autre de ces propulseurs.

Il faut ajouter, comme inconvénients liés à l'emploi des hélices, le bruit continuel et désagréable causé par les engrenages, la crainte de voir l'appareil moteur brisé par la rencontre des hauts fonds, l'usure rapide des supports dans lesquels l'hélice tourne avec une rapidité extraordinaire, enfin la difficulté qu'on éprouve souvent à la retirer lorsqu'elle exige quelque réparation, et surtout à la remettre en place en la fixant exactement dans la direction de l'axe du navire qu'elle doit toujours occuper pour fournir le maximum de son action motrice.

La conclusion des faits qui viennent d'être énumérés est facile à déduire. L'hélice, manifestant surtout ses avantages dans le cours d'une navigation difficile et accidentée, convient parfaitement au service de la mer. Sur les rivières et sur les fleuves, elle présente moins d'avantages. Il est de toute évidence qu'un navire de guerre ne peut employer que l'hélice comme moyen propulseur. Quant aux paquebots ou bâtiments de commerce, bien qu'ils semblent devoir en tirer des avantages moindres, on les voit cependant depuis quelques années l'adopter de préférence. Presque tous les bâtiments à vapeur que l'on construit en Angleterre, pour le service du commerce, sont munis de l'hélice. En France, on tend de plus en plus chaque jour à suivre cet exemple, et pour la plupart des constructions navales, on a recours aujourd'hui à l'hélice de préférence aux roues à aubes.

PRINCIPAUX TYPES DE MACHINES A VAPEUR EMPLOYÉS DANS LA NAVIGATION.

Les détails dans lesquels nous sommes entré dans la première notice de ce volume, relativement aux divers systèmes de machines à vapeur employés pour les machines fixes, nous dispenseront de nous étendre beaucoup sur la description des machines de ce genre consacrées au service de la navigation. Aucune différence importante n'existe, en effet, entre les machines fixes établies dans les usines et celles qui fonctionnent à bord des navires ou des bateaux de rivière. La seule particularité à noter, c'est que, sur un bateau muni de roues, on emploie deux machines à vapeur au lieu d'une seule. Dans l'espace étroit réservé au mécanisme, on ne pourrait facilement établir le volant qui sert dans les machines fixes à régulariser le mouvement. On arrive au même résultat en faisant usage de deux machines à vapeur distinctes qui viennent agir, chacune, sur l'arbre tournant auquel sont fixées les roues. Les manivelles de l'arbre de chaque machine sont disposées à angle droit l'une sur l'autre, de telle sorte que lorsque l'une d'elles est au point le plus avantageux de sa course, l'autre se trouve au point le plus désavantageux, au *point mort*, comme on le dit en mécanique, ce qui assure la continuité et la régularité de la rotation de l'arbre.

Les types de machines à vapeur employés dans la navigation varient selon que le bateau est porteur de roues à aubes ou de l'hélice. Pour les roues à aubes, il suffit d'imprimer à l'axe des roues une vitesse modérée; quand il s'agit de l'hélice, il faut, au contraire, transmettre à ce propulseur un mouvement excessivement rapide ; de là la nécessité, afin de ne pas trop multiplier les engrenages ayant

pour effet d'augmenter la rapidité primitive de la machine, de faire usage de types particuliers de machines à vapeur.

Machines à vapeur des bateaux à roues. — Un type de machine fréquemment employé pour les bateaux ou navires à roues, est la *machine de Watt*. Ces machines, qui ont été les premières employées dans la navigation, sont, à la vérité, lourdes et encombrantes ; mais ce sont celles qui offrent la plus grande solidité, qui sont les moins sujettes aux avaries, qui peuvent supporter le travail le plus long et le plus soutenu.

Les *machines du type Watt* employées à bord des bateaux et des navires, étant fort peu différentes dans toutes leurs dispositions de celles qui sont en usage dans les usines, c'est-à-dire des machines fixes, nous n'aurons pas à nous étendre ici sur leur description. La seule différence à signaler entre les machines à basse pression de nos usines et celles des bateaux ou navires, se rapporte à la place occupée par le balancier. Dans les bateaux, où l'espace a besoin d'être ménagé, on ne pourrait établir sans beaucoup d'inconvénients le haut et volumineux balancier qui, dans la machine de Watt, s'élève au-dessus du cylindre; on le dispose donc au-dessous, à l'aide d'une tige articulée qui sert de moyen de renvoi. Le balancier, ainsi placé à la partie inférieure du mécanisme, produit le même effet que produit, dans les machines fixes, le balancier situé à leur partie supérieure. Si donc on se représente une machine à vapeur à condensation, telle qu'elle est figurée page 192, mais dans laquelle le balancier, au lieu de se trouver installé au-dessus du cylindre, soit disposé au-dessous, on aura une idée suffisamment exacte de la machine du type Watt qui sert à la navigation. Quelques différences peu importantes se remarquent seulement, selon les formes du bateau, dans les dispositions et l'installation des différentes pièces du mécanisme. Comme

le fait remarquer avec raison un savant ingénieur de la marine, M. Hubert : « Cette uniformité dans les points principaux n'est pas le résultat d'une aveugle routine, ainsi « qu'on pourrait le supposer, mais d'un grand nombre « d'expériences dirigées par l'intérêt particulier, dans le « but de trouver les moyens économiques qui conviennent « le mieux au service de la mer. »

En Angleterre, en Hollande, en Belgique, dans une partie des États-Unis, en France, pour la marine de l'Etat, la machine de Watt à condenseur et à basse pression, c'est-à-dire à la pression d'une atmosphère ou d'une atmosphère et quart, est la seule en usage pour les bateaux à roues.

On comprend difficilement, au premier aperçu, les motifs qui pourraient dicter l'adoption sur les bateaux des machines à haute pression sans condenseur. Les eaux affluentes fournissant toute la quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur, il paraît absurde de songer à se servir, sur les fleuves ou les mers, de machines sans condenseur. Cependant on voit en Amérique, sur les eaux de l'Ouest, quelques bateaux mis en mouvement par ce genre de machines. Leur emploi ne s'explique que par les nécessités spéciales du service de ces paquebots. Ils n'ont en général à accomplir qu'un trajet très-court, et une grande vitesse est pour eux la condition du succès. La machine à haute pression offrant, sous un faible volume, une puissance motrice considérable, présente, dans ce cas particulier, certains avantages, et ce n'est que dans de telles conditions que l'on peut admettre l'emploi d'une machine qui fait perdre le bénéfice de la force motrice d'une atmosphère.

Mais si la machine à haute pression n'offre point d'avantages, sous le rapport économique, quand on laisse la vapeur se perdre librement dans l'air, elle présente, au contraire, des conditions très-précieuses lorsque la vapeur à

haute pression, au lieu d'être rejetée dans l'atmosphère, est soumise à la condensation. Nous avons vu que l'industrie a tiré un parti des plus heureux de la combinaison de ces deux systèmes, et que dans plusieurs machines fixes qui fonctionnent dans nos usines, on emploie de la vapeur à haute pression que l'on condense après qu'elle a produit son effet. On réunit ainsi le double bénéfice de la puissance motrice considérable dont jouit la vapeur à haute tension, et celui qui résulte de sa condensation. Cette alliance des deux systèmes, que l'on a réalisée avec tant de profit sur les machines fixes, est aussi adoptée pour la navigation. Une partie des bateaux à vapeur qui parcourent nos fleuves portent des machines qui sont à la fois à haute pression et à condenseur : la vapeur y fonctionne avec une tension qui va de quatre à cinq atmosphères.

Cependant, ayons bien soin de remarquer que les navires ne font jamais usage de ce système combiné, et voici le motif de cette exclusion. Si le niveau de l'eau venait accidentellement à s'abaisser dans la chaudière, les parois du métal ne tarderaient pas à rougir par suite de la température excessivement élevée que présente le foyer lorsqu'il sert à produire de la vapeur à haute pression. Or, si dans ce moment, le roulis du navire projetait une partie de l'eau de la chaudière contre ces parois rougies, l'explosion serait à craindre. C'est pour ce motif que les machines à haute pression sont proscrites sur les navires et réservées aux bateaux qui suivent le cours tranquille des rivières ou des fleuves.

Outre la machine de Watt, on fait quelquefois usage, pour mettre en action les roues à aubes, de machines d'un autre type, parmi lesquelles nous signalerons les *machines à cylindre horizontal*, dont le type est assez conforme à celui des locomotives, les *machines à cylindre vertical* et les *machines oscillantes ;* mais ces systèmes sont rarement consacrés à

mettre en action les roues : dans l'immense généralité des cas, on s'en tient aujourd'hui à l'ancien type de Watt pour les navires à roues.

Machines à vapeur des bateaux à hélice. -- La machine de Watt se prêterait mal à fournir directement la vitesse qu'il faut imprimer à l'hélice. On fait donc usage, dans ce cas, de machines portant directement l'action sur l'arbre à mettre en rotation. C'est pour ces motifs que l'on a fait usage successivement sur les bateaux et navires à hélice :

1° De machines à cylindre horizontal ;

2° De machines oscillantes ;

3° De machines à deux cylindres inclinés, agissant sur le même arbre et conformes au type des locomotives.

De ces trois systèmes, le premier, c'est-à-dire la *machine à cylindre fixe horizontal*, a été jusqu'ici le plus usité. Le navire *le Charlemagne*, qui a servi de type à la plupart des machines des navires à hélice de la marine impériale française, est muni d'une machine de ce type, qui est aujourd'hui le plus généralement adopté. L'action motrice de la tige du piston se transmet directement et sans aucun intermédiaire à l'arbre de l'hélice, auquel il imprime une vitesse très-considérable.

Les *machines oscillantes* qui ont été employées pendant une vingtaine d'années sur les bateaux de rivière et sur les navires de mer, sont aujourd'hui abandonnées par suite des inconvénients qui sont inhérents à ce genre de machines, et qui résultent d'une part de l'usure trop rapide des tourillons qui supportent le cylindre mobile, d'autre part de l'imperfection du vide et de la perte de pression occasionnée par le long trajet de la vapeur dans les coudes et les circuits des tourillons.

Les *machines à cylindres inclinés*, selon le type des locomotives, constituent un système nouveau, qui tend à se géné-

raliser beaucoup sur les navires par suite du faible emplacement nécessité pour l'installation de cet appareil mécanique. MM. Gâche (de Nantes), Thompson et Wothert, en Angleterre, Carslund, en Suède, ont construit les machines les plus remarquables en ce genre. La seule machine de navigation qui obtint à l'Exposition universelle de 1855 la grande médaille d'honneur, est une machine de ce genre, c'est-à-dire à cylindres inclinés selon le type des locomotives, qui avait été construite par M. Carslund à l'usine de Motala, en Suède (1). Cette disposition paraît celle qui sera adoptée dans l'avenir pour les navires à hélice.

La puissance des machines à vapeur, quel que soit le type de leur construction, varie selon le port des bateaux ou des navires. Ces deux termes sont assujettis au principe suivant généralement adopté : la force de la machine à vapeur doit être d'un cheval pour un port de deux tonneaux sur les bateaux de rivière, et sur les navires, d'un cheval pour un port de quatre tonneaux.

Chaudière et foyer de machines à vapeur appliqués à la navigation. — Si les machines à vapeur qui servent à la navigation ressemblent beaucoup, sous le rapport du mécanisme, aux machines fixes de nos usines, elles en diffèrent en ce qui concerne la disposition de la chaudière et du foyer. On comprend, en effet, que l'agitation continuelle de la chaudière, par suite du roulis ou du mouvement des vagues, doit entraîner la nécessité de dispositions spéciales pour le générateur. Indiquons rapidement les formes principales adoptées aujourd'hui pour la construction des chaudières de bateaux.

(1) Voyez la description de cette machine de navigation, dans notre ouvrage : *Les applications de la science à l'industrie et aux arts en 1855, pour servir d'introduction à l'Année scientifique* pages 53-54, 2e édition.

Les chaudières des bateaux qui font usage de machines à basse pression présentent une forme prismatique; elles sont analogues, par leur aspect, aux chaudières de Watt, que l'on désigne sous le nom de *chaudières à tombeau*. Mais elles en diffèrent notablement en ce qu'elles sont partagées à l'intérieur en un certain nombre de compartiments ou cloisons, qui ont pour effet d'arrêter et de maintenir la masse du liquide qui s'y trouve contenu, lorsque le bâtiment vient à s'incliner sur son axe par l'effet du mouvement de la mer. De plus, on les fait traverser par un certain nombre de larges conduits métalliques par lesquels s'échappe l'air chaud qui sort du foyer. Par cet artifice, l'eau se trouve soumise par une plus grande surface à l'action du feu, et elle donne ainsi naissance, dans le même temps, à une quantité beaucoup plus considérable de vapeur.

Dans les machines à haute pression des bateaux, la vapeur est produite par des chaudières à bouilleurs analogues à celles des machines fixes; seulement le nombre des bouilleurs est plus grand. Ajoutons que depuis plusieurs années on a adopté, pour le service des bateaux et des navires, les chaudières dites *tubulaires* qui, dans un espace de temps très-court, produisent une quantité de vapeur prodigieuse. Ces chaudières se composent d'une grande capacité à peu près prismatique, traversée par un nombre considérable de tubes étroits, dans l'intérieur desquels vient circuler l'air chaud ou la flamme arrivant du foyer, et qui donnent ainsi à la surface de chauffe une étendue extraordinaire. Nous aurons occasion de parler avec plus de détails, dans l'histoire des chemins de fer, de ce genre de chaudière dont l'emploi commence à se généraliser beaucoup dans les machines de navigation.

Cependant la force qu'il faut développer pour mettre en mouvement sur les eaux la masse énorme d'un navire, est si considérable, qu'une chaudière présentant les disposi-

tions précédentes serait encore insuffisante pour produire la quantité de vapeur nécessaire au jeu de la machine. Or, comme on ne peut étendre au delà de certaines limites les dimensions des chaudières, on est contraint d'en employer deux pour chacune des machines; et comme, d'autre part, un bateau à roues est toujours mis en action par deux machines, on voit que l'on est conduit à employer sur un navire à vapeur porteur de roues quatre générateurs de vapeur. Ces quatre chaudières sont adossées deux à deux l'une contre l'autre, et installées dans la cale du navire, dont elles occupent la plus grande partie. Les deux machines à vapeur qu'elles alimentent sont disposées au-dessus.

Les chaudières des navires présentent une particularité que n'offrent point celles des bateaux de rivière. Elles sont naturellement alimentées par l'eau de la mer ; or, cette eau tient en dissolution une quantité considérable de substances salines, et son évaporation dans le générateur donne promptement naissance à un dépôt abondant de sel marin. Les moyens employés dans les machines fixes pour prévenir la formation des dépôts terreux, resteraient ici sans efficacité. On sait que dans les machines alimentées par de l'eau douce, certains corps étrangers placés dans la chaudière suffisent pour prévenir la formation des incrustations terreuses. Cette précaution serait complétement insuffisante avec l'eau de la mer qui tient en dissolution une quantité de sels énorme, puisqu'elle s'élève à 32 grammes par litre. Comme il serait impossible de s'opposer à la précipitation de ces substances, on est contraint de remplacer l'eau du générateur lorsqu'elle a atteint le degré de concentration auquel elle commence à fournir du sel. C'est dans ce but que les chaudières des navires sont pourvues d'une pompe, dite *à saumure*, destinée à rejeter à la mer l'eau qui a subi un commencement de concentration. Cette pompe est mise en mouvement, terme moyen, une fois par heure ;

elle vient puiser l'eau dans les parties inférieures de la chaudière, parce que c'est dans ce point que se réunit, en raison de sa pesanteur spécifique, l'eau la plus chargée de sels. Il existe une pompe à saumure, dite de *Maudslay*, du nom du fabricant qui l'a imaginée; son mécanisme et ses dimensions sont calculés de telle sorte qu'elle extrait de la chaudière un volume d'eau contenant précisément la quantité de sels existant dans le volume d'eau apporté dans le même temps au générateur par le tuyau de la pompe alimentaire. On appelle *faire l'extraction,* dans les bateaux de mer, l'opération qui consiste à évacuer ainsi, d'heure en heure, l'eau concentrée et chargée de sels qui existe dans le générateur. Pour utiliser une partie de la chaleur emportée par cette eau, on la dirige hors du navire, par un tuyau métallique qui se trouve environné lui-même d'un second tube par lequel arrive l'eau d'alimentation. Par cette disposition, l'eau qui entre dans la chaudière s'échauffe aux dépens de celle qui est rejetée, et lorsqu'elle s'y introduit, elle se trouve déjà en partie échauffée, ce qui procure une certaine économie de combustible.

LES CHEMINS DE FER

CHAPITRE PREMIER

Premières idées concernant la locomotion par la vapeur. — Le docteur Robinson. — James Watt. — Voiture à vapeur de l'ingénieur français Cugnot. — Construction des premières machines à haute pression par Oliver Évans. — Application de ces machines à la locomotion sur les routes ordinaires. — Voiture à vapeur d'Oliver Evans. — Diligence à vapeur de Trevithick et Vivian.

La machine à vapeur a eu cette heureuse destinée que les diverses améliorations qu'elle a reçues depuis son origine ont trouvé, dès le moment de leur création, des applications de la plus haute importance. En 1690, le génie de Papin jette dans le monde scientifique sa grande conception concernant la force élastique, et dix ans sont à peine écoulés, que cette pensée théorique, sortant du domaine spéculatif où elle a pris naissance, reçoit son application dans l'industrie. Savery et New comen, consacrant la machine atmosphérique à l'épuisement des eaux dans les mines de houille, arrachent à une imminente ruine la branche mère de l'industrie britannique. Dès que James Watt a accompli dans le système des machines à vapeur cette révolution admirable que nous avons essayé de faire connaître, on voit aussitôt les applications de ses découvertes se réaliser sur une échelle immense. Avec les forces nouvelles dont elle est armée, la machine à vapeur s'élance, par toutes les voies, dans le domaine de l'industrie, et vient offrir son utile concours aux

innombrables travaux des manufactures et des usines. La persévérance et les talents de Fulton lui ouvrent ensuite l'empire des mers, et elle brave sur l'Océan l'effort des vents et des flots. Enfin, de nouveaux perfectionnements apportés au mécanisme de ce puissant moteur permettent de l'appliquer aux transports rapides sur les voies de la locomotion terrestre. C'est cette dernière période des progrès de la machine à vapeur qu'il nous reste à aborder, et ce n'est ni la moins curieuse, ni la moins intéressante de son histoire.

Bien que les machines à vapeur *locomotives* soient beaucoup plus simples dans leur combinaison que les machines fixes qui fonctionnent dans les usines ou sur les navires, leur invention est de beaucoup postérieure en date à ces dernières : les bateaux à vapeur sillonnaient les fleuves dans les deux hémisphères vingt ans avant que la circulation des voyageurs fût établie sur les chemins de fer. Cette circonstance s'expliquera sans peine, si l'on considère les conditions spéciales auxquelles la machine à vapeur devait satisfaire pour servir à traîner sur la terre les hommes et les fardeaux. Les seules machines à vapeur connues et employées dans l'industrie jusqu'au commencement de notre siècle furent les machines, à condensation. Or, on ne pouvait songer à les appliquer aux transports sur les routes, car l'énorme quantité d'eau employée au seul usage de la condensation de la vapeur, aurait surchargé la voiture au point de l'empêcher de se traîner elle-même. Il fallait, pour résoudre ce problème, posséder un appareil moteur présentant tout à la fois un poids très-faible, un volume médiocre et une puissance considérable. Les machines à haute pression réunissent ces conditions précieuses, mais elles ne furent en usage que vers l'an 1801 ; ce n'est donc qu'à partir de ce moment que l'on put sérieusement s'occuper d'appliquer la puissance de la vapeur à la locomotion terrestre.

Cependant cette vérité ne s'est pas toujours montrée tellement évidente, que quelques mécaniciens n'aient essayé, avant cette époque, d'aborder le problème de la locomotion terrestre par la vapeur. Mais ces tentatives sans portée méritent à peine un souvenir. C'est ainsi qu'en 1759, le docteur Robinson, alors élève à l'université de Glascow, s'était proposé d'appliquer la vapeur à faire tourner les roues des voitures, et que James Watt, en 1784, donna, dans un de ses brevets, la description d'une machine à condensation applicable au même objet. Mais ces deux savants avaient l'un et l'autre une connaissance trop approfondie de ces questions pour ajouter aucune importance à une idée de ce genre ; ils ne tardèrent pas à abandonner leur projet.

Il en fut autrement d'un ingénieur français, nommé Cugnot, qui, méconnaissant la gravité des obstacles qu'il allait rencontrer, fit de longs et inutiles efforts pour construire des chariots mis en mouvement par la vapeur. Loin de contribuer, comme on l'a souvent prétendu, à la découverte de ce genre de locomotion, ce mécanicien ne fit que la retarder par suite de son échec.

Joseph Cugnot, né à Void, en Lorraine, le 25 septembre 1725, avait vécu pendant toute sa jeunesse en Allemagne, où il servait en qualité d'ingénieur. Il passa ensuite dans les Pays-Bas, pour entrer au service du prince Charles. Un ouvrage sur les *Fortifications de campagne*, et un nouveau modèle de fusil, qui fut accueilli par le maréchal de Saxe et adopté pour l'armement des hulans, lui valurent une certaine notoriété dans son art. Encouragé par ces premiers succès, il s'occupa, à Bruxelles, de construire des chariots qu'il désignait sous le nom de *fardiers à vapeur*, et qu'il destinait au transport du matériel de l'artillerie. Il se rendit à Paris en 1763, pour y continuer ses recherches. Au bout de plusieurs années de travaux, il réussit à construire un modèle, encore fort imparfait, de ce genre de machines qui

fut soumis en 1769 à l'examen de Gribeauval. Un ancien rapport, retrouvé par M. le général Morin aux archives de l'artillerie, établit d'une manière authentique l'origine de la voiture de Cugnot. Nous en rapportons un extrait.

« En 1769, est-il dit dans ce rapport, un officier suisse, nommé Planta, proposa au ministre Choiseul plusieurs inventions, lesquelles, en cas de réussite, promettaient beaucoup d'utilité.

« Parmi ces inventions, il s'agissait d'une voiture mue par l'effet de la vapeur d'eau produite par le feu.

« Le général Gribeauval ayant été appelé pour examiner le prospectus de cette invention, et ayant reconnu qu'un nommé Cugnot, ancien ingénieur chez l'étranger et auteur de l'ouvrage intitulé *Fortifications de campagne*, s'occupait alors d'exécuter à Paris une invention semblable, détermina l'officier suisse Planta à en faire lui-même l'examen.

« Cet officier l'ayant trouvée de tous points semblable à la sienne, le ministre Choiseul chargea l'ingénieur Cugnot d'exécuter aux frais de l'Etat celle par lui commencée en petit.

« Mise en expérience en présence du ministre, du général Gribeauval et en celle de beaucoup d'autres spectateurs, et chargée de quatre personnes, elle marcha horizontalement, et j'ai vérifié qu'elle aurait parcouru environ 1 800 à 3 000 toises par heure, si elle n'avait pas éprouvé d'interruption.

« Mais la capacité de la chaudière n'ayant pas été assez justement proportionnée avec assez de précision à celle des pompes, elle ne pouvait marcher de suite que pendant la durée de douze à quinze minutes seulement, et il fallait la laisser reposer à peu près la même durée de temps, afin que la vapeur de l'eau reprît sa première force ; le four étant d'ailleurs mal fait, laissait échapper la chaleur; la chaudière paraissait aussi trop faible pour soutenir dans tous les cas l'effort de la vapeur.

« Cette épreuve ayant fait juger que la machine exécutée en grand pourrait réussir, l'ingénieur Cugnot eut ordre d'en faire construire une nouvelle, qui fût proportionnée de manière à ce que, chargée d'un poids de huit à dix milliers, son mouvement pût être continu pour cheminer à raison d'environ 1 800 toises par heure.

« Elle a été construite vers la fin de 1770, et payée à peu près 20 000 livres.

« On attendait les ordres du ministre Choiseul pour en faire l'essai, et pour continuer ou abandonner toutes recherches sur cette nouvelle invention ; mais ce ministre ayant été exilé peu après, la voiture est restée là, et se trouve aujourd'hui dans un couvert de l'Arsenal (1). »

Ce rapport semble établir que les essais définitifs de la voiture de Cugnot ne furent point exécutés. Cependant Bachaumont nous apprend le contraire.

« On a parlé il y a quelque temps, nous dit l'auteur des *Mémoires secrets*, à la date du 30 novembre 1770, d'une machine à feu pour le transport des voitures, et surtout de l'artillerie, dont M. Gribeauval, officier en cette partie, avait fait faire des expériences qu'on a perfectionnées depuis, au point que mardi dernier la même machine a traîné dans l'Arsenal une masse de cinq milliers servant de socle à un canon de 48, du même poids à peu près, et a parcouru en une heure cinq quarts de lieue. La même machine doit monter sur les hauteurs les plus escarpées et surmonter tous les obstacles de l'inégalité des terrains ou de leur abaissement. »

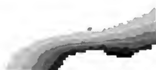
Mais cet espoir fut déçu, car la tradition rapporte que dans des essais postérieurs, la violence des mouvements de cette machine ayant empêché de la diriger, elle alla donner contre un pan de mur qui fut renversé du choc.

La voiture à vapeur de Cugnot existe encore au Conservatoire des arts et métiers de Paris, où les curieux vont la visiter. Quand on examine d'un œil impartial le mécanisme de cet appareil antique, on ne se sent guère disposé à partager l'espèce d'admiration béate dont il a été l'objet, en France, pendant plusieurs années. Malgré tout le respect que commande sa vue, il est permis de ne voir dans ce patriarche des locomotives qu'une assez pauvre création. La voiture de Cugnot était mise en mouvement par une ma-

(1) *Rapport adressé au ministre de la guerre, le* 24 *janvier* 1801, par L.-N. Rolland, commissaire général de l'artillerie.

chine à vapeur à simple effet. Cette machine se composait de deux cylindres de bronze disposés verticalement et dans lesquels la vapeur, introduite au moyen d'un tube, se trouvait mise en communication tantôt avec la chaudière pour recevoir la vapeur, tantôt avec l'atmosphère pour chasser dehors cette vapeur quand elle avait produit son effet. La chaudière, disposée à l'avant de la voiture, présentait la forme d'un sphéroïde aplati ; le foyer, à peu près concentrique à la chaudière, était disposé au-dessous. Tout ce système reposait sur trois roues : celle de devant était la roue motrice, qui recevait l'action du piston ; les deux autres ne servaient qu'à maintenir l'équilibre.

La machine à vapeur à simple effet n'avait pu s'appliquer, comme nous l'avons vu, à la propulsion des bateaux. A plus forte raison devait-elle échouer pour la locomotion sur terre, où un frottement plus actif et mille autres difficultés venaient encore gêner son action. Ajoutons que Cugnot ne s'était pas inquiété des moyens de remplacer l'eau à mesure qu'elle disparaissait en vapeurs, de telle sorte qu'au bout d'un quart d'heure tout mouvement se trouvait arrêté. Il fallait remplir de nouveau la chaudière, et la marche de la voiture n'était rétablie que lorsque la vapeur avait acquis une tension suffisante. Cette circonstance suffisait à elle seule pour empêcher toute application. On ne peut donc citer qu'avec défaveur l'appareil de Cugnot. C'est qu'il ne suffit point, dans l'industrie ou dans les arts, de se poser en face d'un problème à résoudre, il faut savoir reconnaître, avant de l'aborder, si la science fournit les moyens de triompher des difficultés qu'il présente. Quand l'état d'imperfection des procédés dont l'industrie dispose rend manifestement un projet irréalisable, c'est le signe d'un faux esprit que d'y persévérer. Lorsque Cugnot entreprit ses recherches, la machine à vapeur était depuis soixante ans en usage dans l'industrie. La pensée était déjà venue à beaucoup de méca-



niciens d'appliquer un tel moteur à faire marcher les voitures, mais, après mûr examen, ce projet avait été reconnu impraticable. Quel genre de reconnaissance pourrions-nous donc conserver à celui qui n'eut d'autre mérite que de persister, en dépit de l'évidence, dans une entreprise condamnée, avec raison, par tous les bons esprits de son époque ?

Un essai avorté compromet toujours l'avenir d'une idée scientifique. Le mauvais effet que produisit l'échec de Cugnot retarda notablement la découverte de la locomotion par la vapeur en détournant les mécaniciens de son étude. Trente années s'écoulèrent, pendant lesquelles ce genre de recherches fut totalement abandonné. La découverte des machines à haute pression put seule ramener l'attention sur ce problème, en raison des facilités évidentes qu'elle apportait à sa solution

Nous avons donné, dans la première notice de ce volume, l'historique de la machine à haute pression due à l'Américain Oliver Evans. Comme nous l'avons dit, les machines à haute pression ont eu beaucoup de peine à s'introduire en Europe, et la lutte a duré longtemps entre la machine à condenseur, créée par James Watt en Angleterre, et la machine à haute pression d'origine américaine. Il était cependant difficile de méconnaître, même au début de l'apparition de ces machines, les avantages que présentent pour beaucoup d'applications de la vapeur, les appareils à haute pression qui ne demandent qu'un emplacement exigu, et développent une puissance extraordinaire.

Deux mécaniciens du Cornouailles, Trevithick et Vivian, adoptant les premiers les idées d'Oliver Evans, construisirent, en 1801, des machines à vapeur à haute pression. Frappés bientôt des avantages qu'elles offraient pour l'application de la vapeur à la locomotion, ils essayèrent, à l'exemple d'Oliver Evans, de construire des voitures mises

en mouvement par de la vapeur à haute pression. Ayant réussi dans cette tentative, ils obtinrent un brevet pour exploiter l'usage des voitures à vapeur destinées à marcher sur les routes ordinaires.

La voiture à vapeur de Trevithick et Vivian présentait à peu près la forme de nos diligences. Entre les grandes roues, et par conséquent à l'arrière, se trouvait un large et solide châssis de fer, fixé sur l'essieu ; ce châssis supportait une chaudière et un cylindre à vapeur. Le piston de ce cylindre, disposé horizontalement et dans la direction de l'axe de la route, poussait une tige ou bielle qui imprimait un mouvement de rotation à un axe coudé, lequel, par l'intermédiaire d'un engrenage, faisait tourner les roues de derrière. Les roues de devant, qui présentaient la forme habituelle, pouvaient se mouvoir en tous sens. Pour suivre les diverses inflexions de la route, pour aller à droite, à gauche, etc., le mécanicien pouvait arrêter l'engrenage de l'une des grandes roues motrices ; dès lors, la roue opposée agissait seule et permettait d'imprimer à la voiture la direction convenable. Un frein disposé contre le volant de la machine à vapeur, modérait la vitesse dans les descentes trop rapides.

Ce curieux appareil de Trevithick et Vivian offrait diverses combinaisons très-ingénieuses ; cependant il était impossible qu'il triomphât des difficultés infinies que présente la progression, sur les grandes routes, des voitures à vapeur. Le frottement énorme qui s'opère à la circonférence des roues oppose un obstacle des plus graves à ce genre de locomotion : il est reconnu que sur les meilleures routes, la résistance à vaincre, par suite du frottement, représente les quatre centièmes du poids à transporter, et s'il s'agit de franchir une rampe de 3 centimètres, ce qui arrive fréquemment, elle s'élève aux sept centièmes de la charge. On peut sans doute surmonter cette résistance en faisant usage de machines plus puissantes, mais chaque nouveau poids ajouté

augmente encore le frottement, qui croît, dans ce cas, en proportion de la pesanteur. Cette difficulté n'existe pas sur les bateaux, dans lesquels on peut à volonté augmenter la puissance des machines motrices, car les poids les plus lourds sont soutenus par l'eau sans que la résistance que le frottement oppose à la marche du bâtiment s'accroisse en proportion de ces poids. Enfin la locomotion par la vapeur présente sur la terre d'autres difficultés qui sont tout aussi graves. Les chocs inévitables qui résultent des inégalités du terrain y compromettent à chaque instant le jeu et la conservation de la machine, et la difficulté de contenir et de régler la marche d'une semblable voiture, sur un chemin livré à tous les embarras de la circulation publique, vient encore ajouter à ces dangers.

Trevithick et Vivian ne tardèrent pas à reconnaître leur impuissance à triompher de tels obstacles. Après un grand nombre d'essais infructueux, ils se virent obligés de renoncer à leur projet de lancer des voitures à vapeur sur les routes. Désireux néanmoins de ne pas perdre tout le fruit de leurs travaux, ils songèrent à établir leur machine sur les chemins à rails de fer, qui depuis fort longtemps étaient en usage dans plusieurs mines de l'Angleterre, soit pour transporter la houille dans l'intérieur des galeries, soit pour l'amener aux lieux de consommation. Quelques essais leur suffirent pour reconnaître qu'une voiture à vapeur pourrait offrir, dans ce cas, quelques avantages, et au mois de mars 1802, ils obtinrent un brevet leur conférant le privilége de l'emploi de ces voitures sur les chemins à rails. Ils n'ajoutaient cependant qu'une assez faible importance à ce projet, par suite de l'opinion, unanimement admise à cette époque, que les roues d'une voiture portant sur des rails de fer ne pourraient y trouver assez de frottement ou de prise pour marcher avec une certaine vitesse. La lenteur, qui semblait une condition forcée de ce système de locomotion,

paraissait devoir restreindre beaucoup son emploi, et le réduire au service exclusif des mines. L'emploi de la machine de Trevithick et Vivian sur les chemins à rails ne fut donc qu'une sorte de pis aller, une manière de tirer quelque parti des résultats d'une tentative évidemment avortée. On ne soupçonnait guère en ce moment les prodiges que l'expérience et l'étude devaient faire sortir un jour de cette entreprise à demi abandonnée.

CHAPITRE II

Origine des chemins à rails. — Chemins à rails de bois des mines de Newcastle. — Chemins à rails de fer. — Emploi de la locomotive de Trevithick et Vivian sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil. — Erreur théorique sur la progression des locomotives. — Systèmes de MM. Blenkinsop, Chapman et Brunton. — Expériences de M. Blackett. — Progrès dans la construction des locomotives. — Découverte de la chaudière tubulaire par M. Séguin aîné. — Création des locomotives actuelles.

Les routes à ornières artificielles, sur lesquelles Trevithick et Vivian crurent devoir reléguer leur voiture à vapeur, se trouvaient, depuis longues années, en usage en Angleterre. Pour diminuer les effets du frottement considérable que les roues éprouvent sur le sol, on avait eu l'idée de les assujettir à tourner sur des bandes de bois parallèles, disposées sur toute l'étendue de la distance à franchir. On ignore l'époque précise du premier établissement de ces voies artificielles, qui furent employées pour la première fois à Newcastle. On sait seulement qu'elles existaient vers la fin du dix-septième siècle. Un ouvrage publié en 1696, *la Vie de lord Keepernorth,* nous fait connaître l'existence, à cette époque, de chemins à rails de bois dans les houillères de Newcastle.

« Les transports, dit l'auteur de cet ouvrage, s'effectuent sur des rails de bois parfaitement droits et parallèles, établis le long de la route depuis la mine jusqu'à la rivière ; on emploie sur ce genre de chemin de grands chariots portés par quatre roues, qui reposent sur les rails. Il résulte de cette disposition tant de facilité dans le tirage, qu'un seul cheval peut descendre de quatre à cinq *chaldrons*, ce qui procure aux négociants un avantage immense. »

Cette observation de notre auteur était parfaitement fondée ; on comprend sans peine tous les bénéfices que devait fournir, pour l'économie de la force motrice, la substitution d'une surface plane et polie aux inégalités des routes ordinaires. Aussi l'emploi de ces ornières artificielles donna-t-il les meilleurs résultats dans les mines de Newcastle. Les immenses transports que l'on y faisait, de l'orifice des mines au lieu de chargement, sur la Tyne, rendaient précieux à divers titres cet ingénieux système. Un cheval pouvait traîner, sur ces rails, une charge presque triple de celle qu'il transportait sur une route ordinaire. Les rails employés à cette époque étaient faits en bois de chêne ou de sapin ; ils avaient ordinairement $1^m,8$ de longueur, et étaient fixés sur des traverses placées à 60 centimètres les unes des autres.

Les chemins à rails de bois employés à Newcastle furent adoptés dans quelques gisements houillers des comtés de Durham et de Northumberland, et dans quelques autres provinces de l'Angleterre. Les frais d'établissement et d'entretien étaient considérables, mais ils étaient bientôt couverts par l'économie des transports.

Ce genre de chemin offrait cependant divers inconvénients. Le frottement des roues usait les rails avec assez de rapidité ; il fallait les renouveler souvent, et comme la voie devait toujours conserver la même largeur, on était obligé de fixer les nouvelles pièces de bois aux mêmes points d'attache, ce qui provoquait une détérioration rapide des traverses. L'action des pieds des chevaux sur le milieu de la



route, où les supports se trouvaient à découvert, hâtait encore cette détérioration. Enfin, par suite de la flexibilité du bois, les rails cédaient aisément au poids des chariots, et quand la pluie les avait pénétrés, ils offraient une résistance assez prononcée au tirage.

Le peu de résistance et de durée des rails de bois fit naître l'idée de les revêtir de bandes de fer, dans les parties de la route qui présentaient des courbes ou des pentes trop prononcées. Ainsi modifié, ce système de transport fut bientôt adopté dans la plupart des exploitations houillères de la Grande-Bretagne. Bien qu'imparfait à divers égards, il fut conservé pendant plus de soixante ans sans modification notable.

On finit cependant par reconnaître les avantages que donnaient, pour la diminution du frottement, les plaques de fer appliquées sur les rails de bois, en certains points de la route. Cette observation suggéra l'idée de généraliser l'emploi du fer, et de remplacer, sur toute l'étendue du chemin, les rails de bois par des bandes métalliques. Aux madriers ferrés on substitua donc des rails coulés en fonte. Cette amélioration importante fut essayée pour la première fois en 1738, et adoptée trente ans après d'une manière définitive. C'est ce qui résulte du passage suivant des *Transactions Highland Society :*

« En 1738, est-il dit dans ce recueil, les rails de fonte furent, pour la première fois, substitués aux rails de bois ; cet essai ne réussit pas complétement, parce que l'on continua à employer les chariots de forme ancienne, dont la charge était trop forte pour la fonte. Néanmoins, vers 1768, on eut recours à un moyen fort simple, on construisit un certain nombre de chariots de plus petite dimension, on les joignit ensemble, et en divisant ainsi la charge, on détruisit la cause principale du peu de succès de la première tentative (1). »

(1) *Transactions Highland Society*, vol. VI, p. 7.

Cette heureuse innovation de l'emploi de la fonte fut réalisée en 1768, par l'ingénieur William Reynolds, l'un des propriétaires de la grande fonderie de Colebrook-Dale, dans le Shropshire.

Les rails de fonte employés par Reynolds présentaient à l'extérieur, un rebord saillant destiné à fixer et à maintenir la roue du wagon, de manière à l'empêcher de sortir de la voie. Mais la poussière ou la boue du chemin s'accumulaient entre ce rebord et le rail, et amenaient ainsi, sur les routes ferrées, une partie des inconvénients des routes ordinaires. En 1789, sur le chemin de fer de Loughborough, W. Jessop remplaça les rails à rebord par des rails droits, c'est-à-dire par une simple bande de fer; seulement, pour assurer le maintien du wagon sur le rail, on arma les roues d'un rebord saillant d'un pouce de largeur, ce qui le maintenait invariablement dans cette sorte d'ornière artificielle formée aux dépens de la roue même du wagon.

Depuis 1789 jusqu'à l'année 1811, tous les rails employés en Angleterre pour le service des mines furent construits d'après ce principe. Le seul perfectionnement que les voies ferrées présentèrent depuis cette époque, consista dans la substitution du fer à la fonte. La fabrication du fer ayant reçu dans cet intervalle, en Angleterre, des perfectionnements qui eurent pour effet d'abaisser de beaucoup le prix de ce métal, cette substitution importante put être enfin réalisée : la malléabilité et la ténacité du fer, comparées à celles de la fonte, offraient des conditions précieuses pour la résistance et la solidité des rails. C'est George Stephenson qui adopta le premier les rails de fer.

Les chemins de fer ainsi construits existaient en assez grand nombre en Angleterre, dans les mines de houille, lorsque Trevithick et Vivian obtinrent leur brevet pour l'emploi des voitures à vapeur sur les routes ferrées. Leur locomotive, qui fut adoptée en 1804 sur le chemin de fer de Merthyr-

Tydvil, ne différait que fort peu d'ailleurs de la diligence à vapeur qu'ils avaient construite précédemment pour les routes ordinaires. Elle se composait d'un seul cylindre disposé horizontalement ; le piston transmettait son mouvement aux roues à l'aide d'une bielle et de deux engrenages.

Trevithick et Vivian recommandaient, dans leur brevet, de garnir de quelques aspérités ou rainures transversales, la jante des roues de la locomotive, afin de provoquer plus de frottement, et de remédier ainsi au glissement de la roue sur la surface polie du rail. Ils proposaient même, quand la résistance serait considérable, de placer, sur la circonférence des roues, une sorte de cheville ou de griffe ayant prise sur le sol. En effet, tous les savants admettaient à cette époque, que la principale difficulté qui devait s'opposer à l'emploi des locomotives sur les chemins de fer, consistait dans le défaut d'adhésion des roues sur le rail : on pensait que la surface unie de ces bandes métalliques n'offrait pas assez de frottement pour que la roue pût y trouver une prise suffisante, et l'on concluait que l'action de la vapeur aurait seulement pour effet de faire tourner les roues sur place sans entraîner leur progression : « Entre deux surfaces planes, « disent Trevithick et Vivian, dans un mémoire sur ce sujet, « l'adhésion est trop faible ; les voitures sont exposées à « glisser, et la force d'impulsion est perdue. » C'est pour cela qu'ils recommandaient de rendre, autant que possible, inégale et raboteuse la jante des roues de leur locomotive. Cette idée inexacte avait été émise par suite d'une simple vue de l'esprit, et sans aucune expérience préalable. Cependant, adoptée sans autre examen par tous les ingénieurs, elle constitua dès ce moment l'obstacle devant lequel la science des chemins de fer resta longtemps stationnaire.

Cette aberration des savants fournit un exemple singulier des conséquences fâcheuses auxquelles peut conduire une opinion théorique formée hors du domaine de l'expérience.

Depuis la construction de la première locomotive de Trevithick, tous les efforts des praticiens s'appliquèrent à triompher d'une difficulté imaginaire, et l'on fut ainsi amené à toute une série d'inventions malheureuses et de créations bizarres dont nous abrégerons la triste nomenclature. C'est ainsi qu'en 1811, M. Blenkinsop, directeur du chemin de fer des houillères de Middleton, imagina un système de locomotive dans lequel les roues n'avaient plus d'autre fonction que de supporter l'appareil moteur; l'un des rails était pourvu de dents, et sur cette crémaillère venait engrener une roue dentée mise en mouvement, à l'aide de renvois convenables, par le piston de la machine à vapeur. Ces dentelures devaient, on le comprend sans peine, augmenter singulièrement les effets du frottement et de la résistance. Cependant, le système de Blenkinsop servit plus de douze années aux transports de la houille.

En 1812, William et Edward Chapman substituèrent à la crémaillère de Blenkinsop un système nouveau : ils placèrent au milieu de la voie, et de distance en distance, divers points fixes sur lesquels le convoi était remorqué par une machine à vapeur, à l'aide d'une corde qui s'enroulait sur une espèce de tambour; le câble était détaché aussitôt que le convoi était arrivé à chacun des points fixes échelonnés sur la route. Ce procédé fut quelque temps employé sur le chemin de fer de Heaton près Newcastle. C'est par ce système que fonctionna le premier chemin de fer établi en France, celui des mines de Saint-Étienne.

Enfin, en 1813, un ingénieur, M. Brunton, alla jusqu'à essayer de faire agir la puissance de la vapeur, non sur les roues de la locomotive, mais sur des espèces de béquilles mobiles, qui, pressant contre le sol et se relevant ensuite comme la jambe d'un cheval, poussaient en avant la voiture. Il y avait dans cette étrange disposition de quoi briser en mille pièces, par suite des secousses, les plus robustes machines.

Un accident arrivé à la chaudière empêcha de continuer les essais.

On aurait pu longtemps encore tourner, sans de meilleurs résultats, dans le cercle de ces difficultés imaginaires. Heureusement on se décida à finir par où l'on aurait dû commencer. En 1813, un ingénieur, M. Blackett, mieux avisé que le reste de ses confrères, se proposa de rechercher quel était le degré d'adhérence des roues d'une locomotive sur la surface des rails, et de déterminer, par expérience, la quantité de force que faisait perdre le glissement de la roue. Les circonstances vinrent à son aide, car les rails du chemin de fer de Wylam, sur lequel il entreprit ses recherches, étaient plats et d'une grande largeur, au lieu d'offrir la section elliptique et la faible surface que présentaient alors la plupart des rails établis dans les mines de l'Angleterre. Grâce à cette particularité, et peut-être aussi par l'effet du poids considérable de la locomotive dont il faisait usage, M. Blackett fut amené à reconnaître qu'en raison des aspérités qui existent toujours sur la surface du fer, quelque unie qu'elle soit par le frottement, les roues de la locomotive peuvent mordre suffisamment sur le rail pour y prendre un point d'appui. Il constata par une série d'expériences, que le poids de la locomotive suffit pour déterminer l'adhésion des roues, s'opposer à leur rotation sur place, et provoquer ainsi la marche des plus lourds convois.

J'ignore si la légende qui représente Archimède s'élançant, à demi nu, dans les rues de Syracuse, en criant : *Eureka!* est parfaitement authentique; en revanche, on me dirait qu'à la vue du résultat de ses expériences, l'honorable M. Blackett se livra à un pareil accès de joie et de folie, je le croirais sans trop de peine. En effet, l'obstacle en apparence si grave, qui arrêtait depuis dix ans la science des chemins de fer, venait de disparaître en un moment, et les locomotives, qui n'avaient été admises sur les chemins à rails qu'à contre-

cœur et comme pis aller, étaient en mesure de fournir, dans un intervalle prochain, des résultats devant lesquels l'imagination aurait reculé jusqu'à cette époque. Moins d'une année après les expériences de M. Blackett, la première locomotive qui ait fonctionné avec succès sur une ligne de fer sortait des ateliers de George Stephenson. Elle fut construite en 1814, dans les houillères de Killingworth.

L'année suivante, George Stephenson et Dodd perfectionnèrent ce premier modèle; les modifications introduites dans son mécanisme ne permettaient cependant que d'atteindre la faible vitesse d'une lieue et demie à l'heure.

Deux compagnies anglaises ont fait ériger dans la ville de Liverpool une statue monumentale de bronze à George Stephenson, comme *inventeur principal* des locomotives. Nous ne contesterons pas la convenance d'un tel hommage rendu à l'homme éminent qui, simple ouvrier mineur, parvint, par de longues études accomplies au milieu de ses pénibles travaux, à s'élever au rang des premiers ingénieurs de son pays. On doit faire remarquer pourtant que la locomotive construite par George Stephenson, en 1815, était loin de présenter la solution complète du problème de la locomotion par la vapeur, car elle ne différait que fort peu, dans ses conditions essentielles, de la machine construite par Trevithick dix années auparavant. La chaudière de la locomotive de George Stephenson offrait une forme cylindrique allongée; elle avait $2^{m},44$ de long sur $1^{m},80$ de diamètre. Un tube horizontal de $0^{m},50$ de diamètre, qui recevait le combustible, la traversait intérieurement. De cette chaudière partaient deux cylindres disposés verticalement, et qui communiquaient le mouvement aux deux essieux de la voiture au moyen de deux tiges appliquées aux extrémités d'une traverse, comme dans la machine de Trevithick et Vivian. Le jeu des deux pistons agissant sur chaque essieu était croisé, de manière à ne pas laisser d'interruption dans l'action motrice.

Ces premières locomotives de George Stephenson furent employées sur le chemin de fer des usines de Killingworth. Elles servirent ensuite à traîner les convois de charbon sur le chemin de fer de Darlington à Stockton. Ce dernier chemin avait été établi en 1815 par George Stephenson, pour servir au transport des houilles provenant de Darlington; on avait d'abord employé des chevaux, on leur substitua ensuite une locomotive construite par George et Robert Stephenson son fils. Cependant, par suite de la faiblesse de la machine, les convois ne marchaient qu'avec beaucoup de lenteur; ils employaient ordinairement quatre heures à parcourir la distance de sept lieues qui sépare la plaine de Brusselton de la ville de Stockton; au retour, les chariots vides mettaient cinq heures à faire le même trajet, en raison d'une faible pente qu'il fallait remonter.

Les chemins de fer commençaient donc à rendre quelques services à l'industrie : ils servaient à transporter la houille et certaines marchandises avec plus d'économie que le roulage. Mais ce système était encore dans l'enfance ; il ne pouvait fonctionner qu'avec une lenteur extrême, et rien n'annonçait les prodiges qu'il devait réaliser dans un délai peu éloigné.

Par quel coup de baguette magique cette invention, si languissante depuis son origine, subit-elle la transformation inespérée dont nous admirons aujourd'hui les résultats? Comment les locomotives, qui n'avaient pu servir encore qu'au transport des marchandises, se trouvaient-elles, une année après, susceptibles de s'appliquer au transport des voyageurs, en réalisant une vitesse qui, jusqu'à ce moment, aurait paru fabuleuse? Cette révolution fut opérée tout entière par une simple modification apportée à la forme des chaudières des locomotives. La découverte des *chaudières tubulaires* vint changer brusquement la face des chemins de

fer, car son application permit d'obtenir immédiatement, sur ces voies artificielles, une vitesse de douze lieues à l'heure. Ce ne sera pas pour notre pays un faible titre de gloire : cette découverte mémorable appartient à un ingénieur français.

La compagnie propriétaire des gisements houillers de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier avait obtenu, en 1827, l'autorisation d'établir une route ferrée destinée au transport de la houille de Saint-Étienne à Lyon. Ce chemin de fer devait être desservi par des chevaux ou par des machines fixes remorquant les convois sur les pentes trop roides. L'art de construire les locomotives ne s'était pas encore introduit en France ; la compagnie du chemin de fer de Saint-Étienne fit donc acheter, en 1829, deux locomotives à Manchester, dans les ateliers de Stephenson. L'une d'elles fut envoyée, comme objet d'étude, à M. Hallette, constructeur de machines à Arras ; l'autre fut amenée à Lyon pour servir de modèle à celles que devait y faire construire M. Séguin aîné, directeur du chemin de fer de Saint-Étienne. A la suite des différents essais auxquels ces machines furent soumises, on reconnut que leur vitesse moyenne ne dépassait pas six kilomètres à l'heure. C'est alors que M. Séguin, frappé de l'insuffisance de cette vitesse, fut amené à en rechercher la cause. Le vice de la locomotive de Stephenson résidait, comme il le reconnut sans peine, dans la forme de la chaudière. La force d'une machine à vapeur dépend de la quantité de vapeur qu'elle produit dans un temps donné ; or, comme nous l'avons vu, la quantité de vapeur fournie par une chaudière est proportionnelle à l'étendue de la surface que celle-ci présente à l'action du feu. Dans la chaudière de Stephenson, cette surface était insuffisante, car le foyer, placé dans l'axe de la chaudière, ne pouvait agir que sur la partie cylindrique qui l'enveloppait. Le problème du perfectionnement des locomotives consistait donc à accroi-

tre la quantité de vapeur fournie par le générateur, sans augmenter ses dimensions au delà de certaines limites.

M. Séguin donna une solution des plus brillantes de cette grave difficulté. Il fit traverser la chaudière par une nombreuse série de tubes d'un très-petit diamètre, dans l'intérieur desquels venaient circuler l'air chaud et la fumée qui s'échappaient du foyer. La surface offerte à l'action du feu devenait ainsi infiniment considérable : avec un générateur de dimensions ordinaires, on pouvait offrir une surface de plus de 150 mètres à l'action de la chaleur. L'air chaud, traversant ces tubes, vaporisait rapidement l'eau qui remplissait leurs intervalles, et provoquait, dans un temps très-court, le développement d'une énorme quantité de vapeur. Les chaudières des premières locomotives de M. Séguin contenaient quarante-trois de ces tubes ; on ne tarda pas à les porter jusqu'à soixante-quinze et plus tard jusqu'à cent, et même cent vingt-cinq.

Il restait cependant une autre difficulté à surmonter. On ne pouvait employer sur les locomotives que des cheminées d'une hauteur médiocre, car les longues cheminées en usage dans nos usines pour activer la combustion, auraient compromis la stabilité de tout le système, et obligé d'accroître au delà de toute proportion raisonnable les dimensions des ponts et des souterrains traversés par les convois. Or, il était à craindre qu'avec de courtes cheminées, le tirage ne s'établît qu'avec beaucoup de peine au milieu de cette longue série de tubes étroits traversés par le courant d'air chaud. M. Séguin surmonta cette seconde difficulté en disposant devant le foyer un ventilateur destiné à provoquer un tirage artificiel. Ce ventilateur, mis en mouvement par la machine elle-même, fut d'abord placé sous le foyer ; on le transporta ensuite dans la cheminée.

« Le plus grand obstacle que j'entrevoyais, dit M. Séguin

aîné (1), à l'accomplissement de mon projet, était la faculté de parvenir à obtenir, dans le foyer, un courant d'air assez fort pour déterminer les produits de la combustion à passer au travers des tubes qui remplaçaient la cheminée de la chaudière. Je craignais que la faiblesse de leur diamètre, en augmentant les surfaces, ne causât assez de retard dans la marche de l'air pour anéantir entièrement le tirage. Il fallait donc avoir recours à un moyen d'alimentation artificielle absolument indépendant du tirage de la cheminée. C'est ce que j'obtins au moyen des ventilateurs à force centrifuge ; après quelques essais, je parvins à produire jusqu'à 1 200 kilogrammes de vapeur à l'heure, en employant des chaudières de 3 mètres de longueur sur $0^m,80$ de diamètre, renfermant quarante-trois tuyaux de $0^m,04$ de diamètre (2). »

Mais le ventilateur de M. Séguin était peu commode et entraînait divers inconvénients. L'important problème d'activer le tirage de la cheminée des locomotives fut résolu beaucoup plus heureusement par une admirable idée dont on a fait honneur à un physicien français, M. Pelletan, mais qui était connue en Angleterre bien longtemps avant lui. Robert Stephenson, et en même temps que lui un autre constructeur, M. Hackworth, l'appliquèrent aux locomotives. Au lieu de provoquer le tirage par un ventilateur, Stephenson dirigea dans l'intérieur du tuyau de la cheminée *le jet de vapeur qui s'échappe des cylindres après avoir produit son action.* Au lieu de rejeter simplement dans l'atmosphère la vapeur à haute pression quand elle a produit son effet mécanique, il la lançait dans la cheminée. Ce moyen active le tirage du foyer, parce que l'air qui remplit le tuyau de la cheminée est continuellement entraîné avec une vitesse considérable hors de ce tuyau. Dès lors l'air ar-

(1) *De l'influence des chemins de fer, et de l'art de les tracer et de les construire*, p. 429.

(2) M. Séguin obtint en France, le 20 décembre 1829, un brevet pour la construction des chaudières tubulaires et pour l'application d'un ventilateur mécanique au foyer des locomotives.

rivant du foyer se précipite aussitôt pour occuper cet espace. Grâce à cet artifice si simple, le tirage acquiert une activité extrême (1).

Les chaudières tubulaires et l'injection de la vapeur dans la cheminée, sont les deux découvertes capitales qui ont contribué à donner à la machine locomotive la puissance extraordinaire de vitesse qui la distingue aujourd'hui.

Cependant la belle invention de Séguin n'aurait peut-être que très-lentement porté ses fruits, si l'Angleterre, pressée par les besoins et l'activité immense de son industrie, ne s'en fût heureusement emparée, et n'eût ainsi rendu son utilité évidente à tous les yeux. Les chaudières tubulaires furent adoptées en 1830 par George et Robert Stephenson, dans les locomotives qu'ils construisirent pour le chemin de Liverpool à Manchester, et les résultats remarquables que l'on en obtint déterminèrent la préférence qui fut accordée aux machines locomotives pour le service du nouveau railway. Au reste, la création du chemin de Liverpool à Manchester forme la période la plus importante, sans aucun doute, de l'histoire des chemins de fer. C'est à cette époque que la supériorité des locomotives, comme agent de traction sur les voies ferrées, a été pour la première fois constatée. L'établissement de ce premier chemin de fer a provoqué la création successive de tous les autres railways de la Grande-Bretagne, et les chemins de fer anglais ont amené l'emploi de ce système de locomotion dans les diverses contrées des deux mondes. Il est donc indispensable de rappeler les circonstances qui firent naître le projet de ce premier chemin de fer et qui déterminèrent son exécution.

(1) Voyez pour l'historique de l'injection de la vapeur d'eau dans les foyers, et pour ce qui concerne le *tuyau soufflant* des locomotives, notre ouvrage les *Applications nouvelles de la science à l'industrie et aux arts en* 1855, pages 59-62, 2e édition.

CHAPITRE III

Origine du chemin de fer de Liverpool à Manchester. — Adoption des machines locomotives pour le service de ce chemin. — Concours de locomotives à Liverpool. — La *Fusée* de Robert Stephenson. — Établissement définitif des chemins de fer dans la Grande-Bretagne et dans les autres parties de l'Europe.

Au commencement du dix-huitième siècle, on lisait l'affiche suivante sur les murs de la cité de Londres :

« *A partir du* 18 *avril* 1703, *ceux qui désirent aller de Londres à York, ou de York à Londres, sont priés de se rendre à l'hôtel du* CYGNE NOIR, *dans Holburne, à Londres, ou dans Cockney street à York ; ils y trouveront une diligence qui part les lundi, mercredi et vendredi, et accomplit le voyage entier en quatre jours, si Dieu le permet.* »

En Écosse, à la même époque, toutes les marchandises étaient transportées à dos de cheval. En 1750, la voiture publique qui faisait le service entre Édimbourg et Glasgow, distants seulement de seize lieues, employait un jour et demi à ce trajet. Il n'y avait, en 1763, entre Édimbourg et Londres, qu'une seule voiture, qui mettait quinze jours à faire un voyage que les diligences ordinaires accomplissent aujourd'hui en quinze heures.

L'importante route de Liverpool à Manchester n'était pas placée dans de meilleures conditions, et les lignes suivantes d'Arthur Young donneront une idée de son état de viabilité il y a seulement quatre-vingts ans :

« Je n'ai pas de termes, dit Arthur Young, pour décrire cette route infernale. J'engage très-sérieusement les voyageurs que leur mauvaise étoile pourrait conduire dans ce pays, à tout faire pour éviter cette maudite traverse, car il y a mille à parier con-

tre un qu'ils s'y casseront le cou, ou pour le moins un bras ou une jambe. Ils y trouveront à chaque pas des ornières profondes de quatre pieds, et remplies de boue même en été. Je laisse à penser ce que ce doit être en hiver! Le seul palliatif à un pareil état de choses consiste à jeter, dans ces trous, j'allais dire dans ces précipices, quelques pierres perdues dont l'effet est de secouer horriblement les voitures. Pour ma part, j'ai brisé trois fois la mienne sur ces dix-huit milles d'exécrable mémoire. »

Ce triste état des routes apportait naturellement de grands obstacles au commerce du pays. Le roulage était d'une lenteur insupportable, et il tenait ses tarifs à un taux si élevé, que l'on ne pouvait y avoir recours que pour des produits offrant beaucoup de valeur sous un faible volume. Le prix des transports de Liverpool à Manchester, par exemple, était de 50 francs par tonne, ce qui représente 90 centimes par kilomètre, ou quatre fois le prix actuel du roulage en France. Il résultait de là que les marchandises lourdes ou encombrantes, telles que le fer ou la houille, ne pouvaient être utilisées que sur les lieux de production, toutes les fois qu'elles ne se trouvaient pas à proximité d'une rivière navigable. Aussi la plupart des gisements houillers restaient-ils improductifs par suite de ce défaut de voies de communication, et telle était, par exemple, la condition où se trouvaient les vastes houillères que le duc de Bridgewater possédait à Worsley, à trois lieues de Manchester, et qui restaient inexploitées faute de voies praticables.

Dans ces circonstances, le duc de Bridgewater, homme de savoire t de résolution, entreprit de créer un nouveau système de transports. Secondé par l'habile ingénieur Brindley, il fit creuser le canal qui porte son nom, et qui constitue la première de ces voies de communication artificielles que l'Angleterre ait possédée. Le plus grand succès couronna cette entreprise, et grâce aux nouveaux débouchés offerts aux produits de ses houillères, le jeune lord accrut consi-

dérablement sa fortune. Excités par cet exemple, un grand nombre de propriétaires de mines firent appel, pour de semblables entreprises, aux capitalistes du pays; si bien qu'au bout de quelques années, le magnifique réseau fluvial qui couvre l'Angleterre était terminé dans presque toute son étendue : mille lieues de navigation artificielle étaient livrées à la circulation des marchandises.

L'état déplorable des routes de terre, encore aggravé par le système de péage que le gouvernement avait établi sur les routes améliorées par lui, rendait alors toute concurrence impossible contre la navigation des canaux. Les compagnies n'eurent donc pas de peine à monopoliser le transport des marchandises, et elles réalisèrent bientôt des bénéfices considérables. C'est en vain que dans l'espoir de maintenir dans de justes limites le tarif des transports, le gouvernement autorisa l'établissement de compagnies rivales pour l'exploitation des canaux ; l'intérêt commun fit réunir les anciennes et les nouvelles compagnies, toute concurrence fut détruite, et le commerce fut astreint à des prix exorbitants. On imaginait toutes sortes de moyens pour éluder les prescriptions légales, et c'est ainsi que les propriétaires du canal de Bridgewater étaient parvenus à percevoir, de Liverpool à Manchester, un péage de 18 francs 75 centimes, malgré le bill qui leur assignait un tarif maximum de 7 francs 50 centimes.

Le commerce toléra longtemps ces exactions; on se rappelait la situation où se trouvait l'industrie manufacturière avant l'établissement des canaux, et l'on aimait encore mieux subir, pour les transports, des tarifs élevés, que de garder ses marchandises en magasin. Mais ce que l'on ne put supporter avec la même longanimité, ce fut la négligence qui finit par s'introduire dans le service des canaux. Encouragées par les facilités qu'elles trouvaient à réaliser de gros bénéfices, les compagnies poussèrent plus loin les

abus : les transports n'atteignirent pas seulement à des prix extravagants, ils furent encore faits avec peu de soin et une lenteur excessive. De 1826 à 1830, de nombreuses pétitions furent adressées au parlement pour dénoncer ces faits ; l'un des pétitionnaires citait plusieurs cas dans lesquels des balles de coton, venues d'Amérique en vingt et un jours, avaient mis un mois et demi pour arriver de Liverpool à Manchester, c'est-à-dire pour faire un trajet de seize lieues.

On ne pouvait supporter davantage un tel désordre. Le mécontentement, longtemps comprimé, fit explosion. Plusieurs meetings furent tenus dans diverses villes de l'Angleterre, pour aviser aux moyens de sortir de cette situation. Une réunion de ce genre, composée d'un nombre prodigieux de personnes, eut lieu à Liverpool le 20 mai 1826. A la suite de nombreux discours prononcés par divers orateurs, il fut décidé qu'une compagnie serait organisée pour établir, de Liverpool à Manchester, un chemin de fer destiné à faire concurrence aux trois canaux qui aboutissent à cette dernière ville.

Les compagnies essayèrent de parer le coup qui les menaçait. Elles se réunirent pour abaisser les tarifs, comme elles s'étaient réunies autrefois pour les élever. Mais il était trop tard. Tous leurs efforts, toutes leurs sollicitations auprès des membres des deux chambres, n'aboutirent qu'à retarder de deux ans la concession du chemin de fer, dont l'établissement fut autorisé par le Parlement à la fin de 1828.

Dans la pensée des créateurs de l'entreprise, le chemin de Liverpool à Manchester ne devait être consacré qu'au transport des marchandises. Liverpool, situé sur la Mersey, près de son embouchure dans la mer d'Irlande, est le port d'Angleterre où viennent débarquer le plus grand nombre de bâtiments partis du nouveau monde, et Manchester est la grande cité manufacturière où se fabriquent les mille tissus formés des provenances de l'Amérique. Les convois innom-

brables de marchandises qui, en tout temps, sillonnent cette route, devaient fournir une ample ressource à l'exploitation du futur railway. Aussi l'idée n'était-elle venue à personne d'appliquer ce chemin au service des voyageurs; il devait être desservi par des chevaux, et, moyennant un droit de péage, tout le monde pouvait être admis à en profiter.

Au commencement de l'année 1829, le chemin de fer se trouvait sur le point d'être terminé; les directeurs songèrent donc à fixer le genre de moteur qui serait adopté pour son service. Déjà, une année auparavant, la compagnie avait envoyé dans les comtés de Northumberland et de Durham une commission chargée d'étudier les divers systèmes de chemin de fer qui s'y trouvaient établis pour l'exploitation des mines; mais la commission était revenue sans pouvoir désigner le moteur le plus avantageux. La seule opinion qu'elle avait émise, c'est que l'activité du mouvement commercial entre Manchester et Liverpool devait rendre l'emploi des chevaux complétement impraticable. Il ne restait donc plus qu'à choisir entre les locomotives et les machines fixes employées comme remorqueurs. Deux ingénieurs, MM. Walker, de Limehouse, et Rastrick, de Stourbridge, furent chargés de visiter les chemins de fer de l'Angleterre où l'on faisait usage de locomotives, et ceux qui avaient adopté les machines fixes. Ils eurent pour mission de déterminer exactement la quantité de travail fournie par chacun de ces deux genres de moteurs. Comme résultat de leur examen, MM. Walker et Rastrick exposèrent que les avantages et les inconvénients des deux systèmes paraissaient se balancer, mais qu'en somme, et sous le rapport des dépenses d'exploitation, les machines fixes semblaient préférables.

Les directeurs du chemin de Liverpool ne se trouvèrent pas suffisamment renseignés par ce rapport. George Stephenson, l'ingénieur de la compagnie, déclarait les locomotives à la fois plus économiques et plus commodes pour le service, et

l'on inclinait vers cette opinion. L'un des directeurs, M. Harrisson, eut alors la pensée de faire décider cette grave question par un concours public, dans lequel tous les constructeurs anglais seraient appelés à produire diverses machines applicables au transport sur une voie ferrée. Un prix de 500 livres sterling (12 500 fr.) et la fourniture du matériel pour le chemin devaient être accordés au constructeur qui présenterait la machine réalisant le mieux les vues de la compagnie. L'opinion de M. Harisson finit par prévaloir dans l'assemblée des directeurs, et le 20 avril 1829, les conditions du concours furent rendues publiques.

Voici les principales de ces conditions : La machine, montée sur six roues, ne pourrait peser plus de six tonnes. Elle devrait traîner, sur un plan horizontal, avec une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, un poids de vingt tonnes, en comprenant dans ce poids l'approvisionnement d'eau et de combustible. — Si la machine ne pesait que cinq tonnes, le poids à remorquer serait réduit à quinze tonnes. — Le poids des locomotives portant sur quatre roues pourrait être réduit à quatre tonnes et demie. — Enfin, le prix de la machine agréée ne pourrait excéder 550 livres sterling (13 750 fr.).

Le jour de l'ouverture de ce curieux concours fut fixé au 6 octobre 1829. On choisit pour juges MM. Rastrick, de Stourbridge, Kennedy, de Manchester, et Nicolas Wood, de Killingworth.

Les constructeurs anglais se mirent aussitôt en devoir de prendre part à ce concours, et six mois après, au jour fixé, cinq machines locomotives, destinées à entrer en lice, étaient réunies à Liverpool. C'étaient : la *Fusée*, présentée par George et Robert Stephenson, de Manchester ; on avait adopté dans sa construction les chaudières tubulaires de M. Séguin. — La *Nouveauté*, de MM. Braithwaite et Erickson. La chaudière de cette locomotive était formée d'un bouilleur unique ; le constructeur avait cru pouvoir remédier

à l'insuffisance de la surface de chauffe par divers moyens mécaniques destinés à provoquer artificiellement le tirage. — Venait ensuite la *Sans-Pareille*, sortant des ateliers de M. Timothy Backworth. — La *Persévérance*, de M. Burstal, et la *Cyclopède*, machine mue par des chevaux et proposée par M. Brandreth, terminaient la liste des machines destinées à prendre part à cette lutte intéressante. On choisit pour servir aux expériences le plateau de Rainhill, qui présente une ligne parfaitement horizontale sur une longueur de deux milles (3 218 mètres).

Comme le texte des conditions du concours ne contenait aucune indication sur le genre d'épreuves auxquelles les machines seraient soumises, on arrêta les dispositions suivantes : Au début de l'expérience, on constatera, pour chacune des locomotives, le poids total de la machine avec sa chaudière pleine d'eau ; la charge à traîner sera triple de son poids. — L'eau de la chaudière sera froide, et il n'y aura pas de combustible dans le foyer ; on délivrera à chaque concurrent la quantité d'eau et de houille qu'il jugera nécessaire pour un voyage. — La machine sera traînée à bras jusqu'au point de départ : elle partira dès que la vapeur aura acquis une tension de cinquante livres par pouce carré. — La locomotive devra faire dix fois l'aller et le retour de l'espace choisi, ce qui représente à peu près le trajet de Liverpool à Manchester. Pour constater le temps de chaque voyage, on établira à chaque extrémité deux stations, occupées chacune par l'un des juges, qui constatera avec soin le moment du passage de la machine. Telles furent les conditions qui furent communiquées aux concurrents et acceptées par eux.

Pendant les premiers jours on se borna à essayer les locomotives ; on les fit aller et venir sur les rails pour les disposer à fonctionner. Le 6 octobre 1829, jour fixé pour le commencement des épreuves, la *Fusée*, de George et Robert Stephenson, entra la première dans l'arène. Suivant le pro-

gramme, elle était montée sur quatre roues et pesait quatre tonnes cinq quintaux (4 316 kilogrammes). Sa chaudière, de $1^{m},73$ de longueur, était traversée par vingt-cinq tubes de 7 centimètres de diamètre ; la vapeur sortant des cylindres était dirigée, pour activer le tirage, dans l'intérieur de la cheminée. Cette belle locomotive présentait la plupart des dispositions que l'on trouve réalisées dans les machines actuelles.

Sans entrer dans le détail des différentes épreuves auxquelles fut soumise la locomotive de Stephenson, nous dirons que, sur un plan horizontal, elle remorqua, avec une vitesse de près de six lieues à l'heure, un poids de douze tonnes quinze quintaux (12 942 kilogrammes). Pour connaître son maximum de vélocité, on la débarrassa de toute charge, ainsi que de l'approvisionnement d'eau et de combustible ; dans ces conditions elle parcourut un trajet de deux lieues et un tiers en quatorze minutes quatorze secondes, ce qui représente une vitesse de dix lieues à l'heure. Dans une autre série d'épreuves, on attacha la *Fusée* à une voiture contenant trente-six voyageurs ; elle communiqua plusieurs fois à cette voiture une vitesse de dix lieues par heure sur un plan horizontal. En remontant sur un plan incliné, sa vitesse, dans les mêmes conditions, était de quatre lieues à l'heure. Cette dernière expérience démontra ce fait important, que les locomotives pourraient s'élever le long de certaines pentes ; on avait supposé jusque-là qu'elles ne pourraient remorquer les convois que sur des terrains parfaitement de niveau.

La seconde machine essayée fut la *Sans-pareille*. Cette locomotive était portée sur quatre roues, et son poids s'élevait à quatre tonnes quinze tonneaux et demi (4 850 kilogrammes). Or, d'après une condition imposée aux concurrents, toute machine atteignant ce poids devait être montée sur six roues, la *Sans-pareille* se trouvait donc exclue du concours. On se détermina néanmoins à la soumettre aux

épreuves, afin de reconaître si les résultats obtenus seraient de nature à être pris en considération ; mais ils se montrèrent, sous tous les rapports, inférieurs à ceux de la *Fusée*.

La locomotive présentée par MM. Braithwaite et Erickson, la *Nouveauté*, n'avait pu être terminée à temps pour être essayée sur des rails. On reconnut à son arrivée à Liverpool, et quand on l'eut placée pour la première fois sur le chemin de fer, que la disposition de ses roues exigeait quelques modifications. Cette circonstance retarda de quelques jours le moment des expériences. La *Nouveauté* différait de la machine de George et Robert Stephenson en ce qu'elle n'avaït point de tender, et qu'elle portait elle-même sa provision d'eau et de combustible. La machine de MM. Braithwaite et Erickson, se trouvant définitivement prête à servir aux expériences, fut amenée au point de départ. La vapeur ayant acquis la tension nécessaire, elle partit aussitôt pour fournir sa course. Mais après son premier trajet, on reconnut que le tuyau d'alimentation de la chaudière s'était crevé. Quand on eut remédié à cet accident, il était trop tard pour continuer les expériences. La machine fut essayée de nouveau les jours suivants. En remorquant un convoi considérable, représentant le triple de son propre poids, elle fit d'abord douze milles à l'heure, et en continuant à marcher, vingt et un milles (sept lieues). On substitua ensuite aux chariots chargés de poids une voiture contenant quarante-cinq voyageurs ; la *Nouveauté* imprima à cette voiture une vitesse de sept lieues à l'heure, terme moyen. Enfin, pour connaître son maximum de vitesse, on la laissa partir sans autre fardeau que l'eau et le charbon qu'elle devait employer. En allant et revenant sur l'espace qu'elle avait à parcourir à diverses reprises, elle présenta une vitesse moyenne de neuf lieues à l'heure; elle marcha même quelquefois avec une rapidité de treize lieues à l'heure. Cependant, à la suite des expériences qui furent exécutées le 14 octobre, on s'aper-

çut que sa chaudière présentait des fuites et livrait passage à l'eau. Les essais se trouvèrent ainsi interrompus. MM. Braithwaite et Erickson déclarèrent alors se retirer du concours.

La *Persévérance* avait éprouvé quelques accidents pendant son transport à Liverpool ; elle ne satisfaisait pas d'ailleurs aux termes imposés par le programme. M. Burstall la retira. Quant à la *Cyclopède*, c'était une machine mue par des chevaux, et qui sortait par conséquent des conditions assignées.

En définitive, le prix fut décerné à la *Fusée* de George et Robert Stephenson, qui avait satisfait à toutes les conditions exigées par la compagnie. Elle avait dû la supériorité de sa vitesse à l'emploi des chaudières tubulaires de M. Séguin, et avait, de cette manière, servi à mettre dans tout son jour l'importance de la découverte de l'ingénieur français. Tel fut le résultat de cette lutte mémorable, qui vivra d'un long souvenir dans l'histoire de l'industrie.

La locomotive de Stephenson, qui permettait de réaliser sur les routes de fer une vitesse de douze lieues à l'heure, changea complétement la face de l'entreprise du chemin de Liverpool à Manchester. Au lieu de se borner au transport des marchandises, la compagnie ouvrit aussitôt aux voyageurs cette nouvelle et merveilleuse voie de communication. Le service public, commencé en 1830, donna immédiatement des résultats inespérés. A peine la circulation fut-elle établie sur la voie ferrée que, des trente voitures publiques qui desservaient chaque jour les deux villes, une seule put continuer son service. La faculté désormais offerte de dévorer les distances amena une révolution complète dans les conditions et les habitudes des voyages. On eut alors la démonstration la plus décisive de ce fait, que la facilité des moyens de transport augmente la circulation dans une proportion extraordinaire. Le nombre des voyageurs qui, avant l'ouverture du chemin de fer, ne dépassait pas 500 par jour.

s'éleva immédiatement à 1500. Le transport des marchandises ne subit pas la même progression, parce que les propriétaires des canaux, aiguillonnés par la concurrence, s'empressèrent d'abaisser leurs prix jusqu'au niveau des tarifs du chemin de fer, et accrurent en même temps la vitesse des transports. Le canal avait en outre l'avantage de communiquer des docks de Liverpool avec Manchester, en baignant les murs mêmes des magasins des fabricants, ce qui économisait les frais de transbordement. Cependant, malgré l'inégalité de ces conditions, le chemin de fer ne tarda pas à transporter un millier de tonnes de marchandises par jour. Aussi, deux ans après son ouverture, il apportait un dividende de 10 pour 100, et les actions jouissaient d'une prime de 120 pour 100. L'ère financière des chemins de fer était inaugurée en Europe avec un éclat qui malheureusement ne devait pas être durable.

Le double et remarquable succès qu'obtint le chemin de Liverpool, sous le rapport technique et financier, provoqua rapidement, en Angleterre, l'établissement de nouveaux railways. L'immense réseau qui relie à la métropole les divers centres de population commença à s'organiser en 1832, et pendant la période de 1832 à 1836, la construction des voies nouvelles reçut une impulsion et un développement considérables. On vit terminer dans cet intervalle 180 lieues de chemins de fer, et en commencer 160 lieues. En même temps, la science pratique des chemins de fer, qui avait trouvé dans la ligne de Liverpool un modèle admirable, alla se perfectionnant chaque jour. Profitant des améliorations successives introduites dans cet art nouveau, les grandes nations de l'Europe et du nouveau monde entrèrent hardiment dans la même voie, et les chemins de fer acquirent bientôt aux Etats-Unis, en Allemagne, en Belgique et en France, ce développement extraordinaire qui fait la force et l'orgueil de ces pays.

Il ne peut entrer dans le plan de cette notice de faire connaître les diverses phases qu'a pu suivre, dans chacune des contrées de l'Europe et du nouveau monde, l'établissement des chemins de fer, ni d'exposer la situation dans laquelle les diverses nations se trouvent aujourd'hui sous ce rapport. Un tel sujet nécessiterait des considérations qui ne pourraient que difficilement ici trouver leur place ; d'ailleurs, ces sortes de données statistiques sont trop exposées à être démenties par le temps : un jour suffit pour les entacher d'erreur. L'origine et les progrès de la locomotion par la vapeur, les développements successifs des chemins à rails, les circonstances qui ont amené la création des chemins de fer actuels et motivé le développement prodigieux qu'ils offrent à notre admiration, ces éléments nous paraissent suffire au but de cet ouvrage.

CHAPITRE IV

Description de la machine locomotive.

On vient de suivre les différentes phases que la construction des locomotives a parcourues jusqu'à notre époque ; on a vu ses perfectionnements principaux depuis le premier modèle de Trevithick et Vivian, jusqu'aux machines construites en 1830, par George et Robert Stephenson, pour le chemin de fer de Liverpool. Il nous reste à donner la description de la locomotive actuelle, et à expliquer le mécanisme à l'aide duquel la force élastique de la vapeur s'y trouve utilisée.

Par son aspect extérieur, une locomotive ressemble assez peu à une machine à vapeur. Il faut quelque science pour

s'éleva immédiatement à 1500. Le transp genre dans ce
dises ne subit pas la même progression angère ne se tra-
priétaires des canaux, aiguillonné lancées en l'air par
s'empressèrent d'abaisser leurs nces que nos lecteurs
tarifs du chemin de fer, et accr dentes doivent leur suf-
tesse des transports. Le canal re vue, qu'une locomotive
communiquer des docks de s d'une machine à vapeur.
baignant les murs mêmes d s simples, une machine à va-
économisait les frais de tr nes : le foyer, la chaudière et
l'inégalité de ces conditi à la transmission de la force.
transporter un millie faciles à discerner à la simple
Aussi, deux ans apr e. Le foyer s'aperçoit à sa partie
dende de 10 pour placée à sa partie moyenne, forme
de 120 pour 100. êtu d'une enveloppe de bois, et qui
inaugurée en E ajeure partie de la locomotive. Enfin
devait pas être mé de deux cylindres à vapeur visibles
Le double lle au-dessous du tuyau de la cheminée.
Liverpool, s
rapidement vers éléments qui viennent d'être énu-
railways. mettre d'expliquer le mécanisme de la
vers cent stination de ses principaux organes. Nous
et penda la chaudière et le foyer, nous passerons
voies n reil moteur qui imprime aux roues le mou-
consid ession.
de ch *foyer de la locomotive.* — La figure 32 re-
temp upe verticale faite à l'intérieur de la chau-
trou er d'une locomotive. L'espace indiqué par la
se p signé sous le nom de *boîte à feu*, l'espace Q
suc mée. La boîte à feu est divisée en deux parties
na ne grille horizontale destinée à supporter le
m que le chauffeur y introduit par la porte *g*. Au-
bi grille est le cendrier qui donne accès à l'air et
F ndres du foyer. Les barreaux de cette grille sont
l' les et susceptibles d'être rapidement enlevés, ce

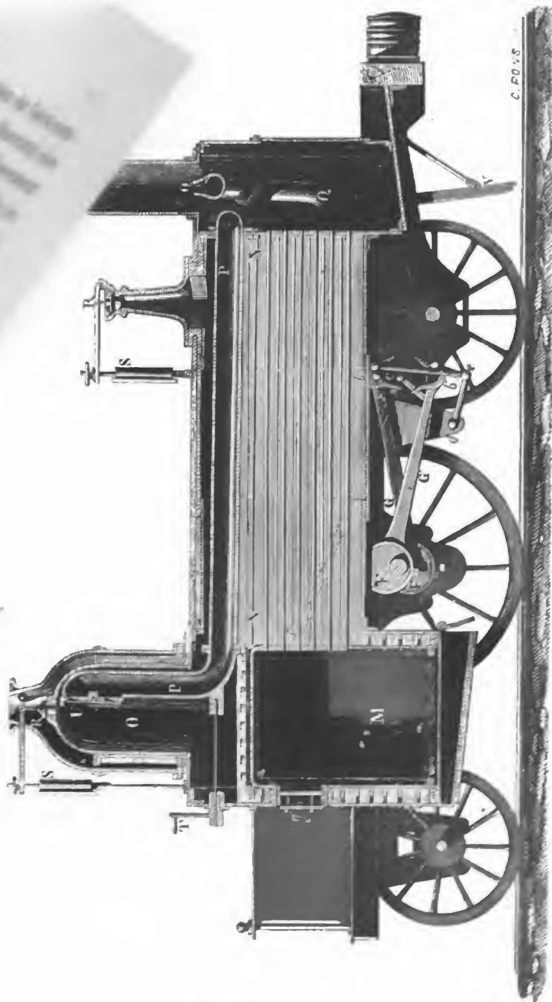


Fig. 32.

démêler les éléments d'une machine de ce genre dans ce véhicule élégant où l'action d'une force étrangère ne se trahit que par quelques bouffées de vapeur lancées en l'air par intervalles. Cependant les connaissances que nos lecteurs ont acquises dans les notices précédentes doivent leur suffire pour reconnaître, à la première vue, qu'une locomotive renferme les parties essentielles d'une machine à vapeur. Réduite à ses éléments les plus simples, une machine à vapeur se compose de trois parties : le foyer, la chaudière et l'appareil mécanique destiné à la transmission de la force. Or, ces trois éléments sont faciles à discerner à la simple inspection d'une locomotive. Le foyer s'aperçoit à sa partie antérieure. La chaudière, placée à sa partie moyenne, forme ce cylindre allongé, revêtu d'une enveloppe de bois, et qui semble constituer la majeure partie de la locomotive. Enfin l'appareil moteur, formé de deux cylindres à vapeur visibles au dehors, est installé au-dessous du tuyau de la cheminée, en avant des roues.

L'examen des divers éléments qui viennent d'être énumérés va nous permettre d'expliquer le mécanisme de la locomotive et la destination de ses principaux organes. Nous décrirons d'abord la chaudière et le foyer, nous passerons ensuite à l'appareil moteur qui imprime aux roues le mouvement de progression.

Chaudière et foyer de la locomotive. — La figure 32 représente une coupe verticale faite à l'intérieur de la chaudière et du foyer d'une locomotive. L'espace indiqué par la lettre M est désigné sous le nom de *boîte à feu*. l'espace Q est la *boîte à fumée*. La boîte à feu est divisée en deux parties inégales par une grille horizontale destinée à supporter le combustible, que le chauffeur y introduit par la porte *g*. Au-dessous de la grille est le cendrier qui donne accès à l'air et reçoit les cendres du foyer. Les barreaux de cette grille sont tous mobiles et susceptibles d'être rapidement enlevés, ce

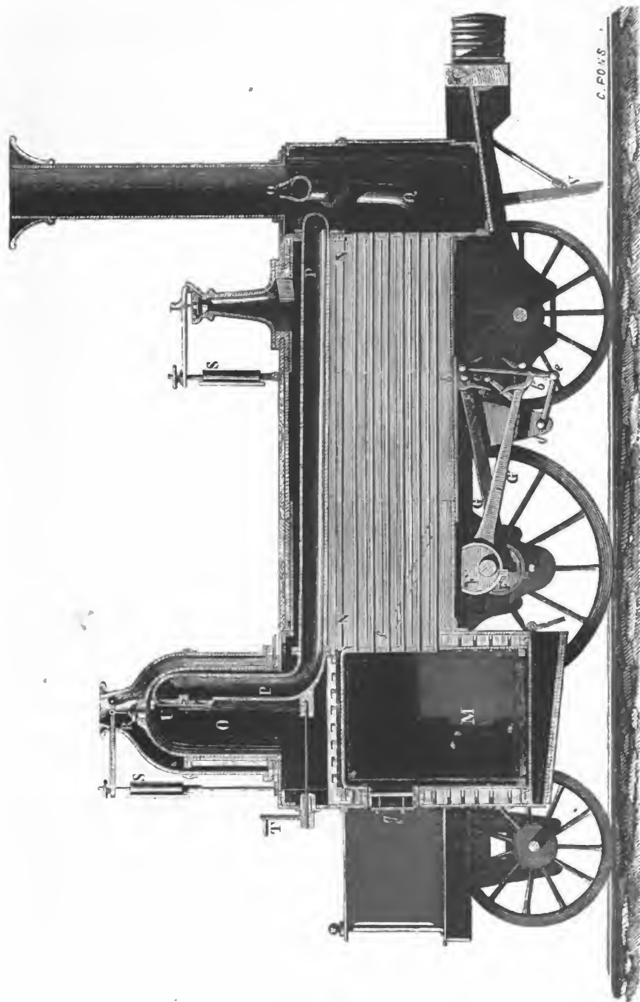


Fig. 32.

qui permet au mécanicien d'éteindre en quelques instants le feu ; il lui suffit de retirer les barreaux pour faire aussitôt tomber sur la voie le coke incandescent.

On voit, en examinant la coupe de la chaudière et du foyer, que ce dernier est entouré de toutes parts par l'eau de la chaudière, à l'exception de la partie qui correspond à la petite porte *g* ; l'eau enveloppant de cette manière presque toute la capacité de la boîte à feu, tout l'effet du combustible se trouve utilisé.

Suivons maintenant la route que doivent prendre, pour se dégager au dehors, l'air chaud et la fumée qui s'échappent du foyer. Cette particularité est des plus importantes à saisir, elle suffit presque à elle seule pour donner l'intelligence de la machine locomotive. Les produits de la combustion ne passent point directement du foyer, où ils ont pris naissance, dans la boîte à fumée, pour s'échapper dans l'air ; ils doivent traverser, avant de se dégager au dehors, toute une longue série de tubes de cuivre d'un petit diamètre, qui s'ouvrent d'une part dans le foyer, et d'autre part dans la boîte à fumée. Ces tubes, dont on n'a représenté qu'un petit nombre sur la figure précédente, sont au nombre de cent à cent vingt ; ils sont disposés horizontalement à travers la chaudière, l'eau qui remplit celle-ci n'occupant de cette manière que l'espace qui les sépare. En traversant ces tubes, l'air chaud et la fumée échauffent l'eau qui se trouve logée entre leurs intervalles, et provoquent, dans un temps très-court, la formation d'une quantité prodigieuse de vapeur. Cette disposition de la chaudière, dont l'invention est due, comme nous l'avons dit, à M. Séguin aîné, permet de donner à la surface chauffée une étendue de 50 mètres carrés ; elle rend compte de la quantité extraordinaire de vapeur, et par conséquent de la force mécanique que développe la chaudière des locomotives dans l'espace étroit qui lui est réservé.

Que devient maintenant la vapeur engendrée dans la chau-

dière? Elle se réunit dans l'espace libre que la figure précédente nous montre au-dessus du niveau de l'eau. L'espèce de dôme indiqué par la lettre O porte le nom de *réservoir de vapeur*. C'est de là que part le tuyau destiné à introduire la vapeur dans les deux cylindres. Dans toutes les machines à vapeur, la prise de vapeur se fait toujours à une certaine distance au-dessus du niveau de l'eau, afin d'empêcher des particules d'eau liquide, entraînées par le mouvement de l'ébullition, de passer dans l'intérieur des cylindres, dont elles altéreraient le jeu. Aussi la prise de vapeur se trouve-t-elle ici à la partie supérieure du dôme métallique qui surmonte la chaudière. Partie de ce point, la vapeur passe dans un large tube PU, qui la conduit dans l'intérieur des cylindres. Ce tuyau traverse la chaudière dans toute son étendue; arrivé à son extrémité, il se divise en deux pour conduire à droite et à gauche la vapeur dans chacun des cylindres.

Remarquons, avant de quitter cette figure, une pièce métallique OU, mise en mouvement par la manivelle T, placée sous la main du mécanicien; elle sert à ouvrir ou à fermer à volonté l'entrée OU du tuyau P. Quand cet orifice est ouvert. la vapeur passe dans le tube P et vient presser les pistons; quand il est fermé, la vapeur n'a plus d'accès dans les cylindres, et, privée ainsi de toute action motrice, la locomotive ne tarde pas à s'arrêter. Cette pièce OU, qui permet de mettre la machine en train ou de suspendre sa marche, porte le nom de *régulateur*.

La locomotive est une machine à vapeur à haute pression. Dans les machines de ce genre, lorsque la vapeur a produit son effet mécanique, on la rejette dans l'air. On aurait pu dans les locomotives lâcher directement au dehors la vapeur sortant des cylindres, comme on le fait dans les machines de nos usines à haute pression et sans condenseur. Mais on a dit plus haut que Robert Stephenson eut l'idée d'appliquer le courant de vapeur qui s'échappe des cylindres à activer le

tirage du foyer, en le dirigeant dans la cheminée. Grâce à cet artifice, on peut brûler cinq fois plus de combustible, et par conséquent produire cinq fois plus de force que l'on n'en produirait en laissant simplement la vapeur se perdre dans l'atmosphère. La disposition pratique adoptée pour mettre en œuvre cet important moyen est indiquée dans la figure ci-jointe, qui représente une coupe transversale de la boîte à fumée.

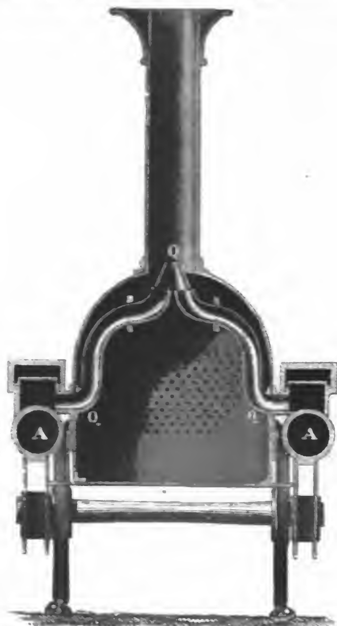


Fig. 33.

En sortant des deux cylindres, que l'on a représentés sur cette figure par les lettres A, la vapeur suit deux tubes recourbés Q, qui vont en se rétrécissant, pour se réunir en un sommet commun, au bas de la cheminée. La vapeur traverse avec une vitesse énorme le tuyau de la cheminée; elle se condense dans cet espace d'une température inférieure à la sienne, et cette condensation produit un vide que vient aussitôt remplir l'air arrivant du foyer par les petits tubes. La succession rapide de ces deux phénomènes détermine une aspiration d'air très-vigoureuse, et provoque un tirage extraordinairement actif.

La cheminée des locomotives sert donc tout à la fois à donner issue aux produits de la combustion provenant du foyer et à la vapeur sortant des cylindres. Ainsi s'expliquent ces

faits, dont on se rend difficilement compte d'ordinaire, que la cheminée d'une locomotive laisse échapper tantôt de la fumée, tantôt de la vapeur, et que la quantité de force développée par la machine est d'autant plus considérable qu'elle laisse perdre plus de vapeur par la cheminée.

Comme toutes les chaudières de machines à vapeur, la chaudière d'une locomotive doit nécessairement être pourvue d'appareils de sûreté destinés à empêcher la vapeur de dépasser les limites normales assignées à sa pression, et en même temps à donner une issue à cette vapeur dès que ce terme se trouve atteint. La chaudière d'une locomotive est, en effet, toujours munie de deux soupapes de sûreté que l'on place à chacune de ses extrémités. Ces deux soupapes se trouvent représentées sur la figure de la page 409 par les lettres R, S. Elles ne sont autre chose, on le voit, que la soupape de Papin. Seulement, comme les mouvements brusques de la machine auraient rendu difficile l'usage de poids pour régler la pression, on les remplace par un ressort en spirale contenu dans une enveloppe métallique S; ce ressort, tendu au moyen d'un écrou adapté à la tige qui supporte le levier, et placé au-dessous de ce levier, sert à exercer sur la plaque qui ferme la chaudière une traction que l'on gradue à volonté à l'aide de cet écrou. Une aiguille adaptée à l'extrémité du ressort indique les différentes tensions de la vapeur exprimées en atmosphères.

Pour que le mécanicien puisse connaître à chaque instant le degré de pression de la vapeur, la chaudière des locomotives est munie d'un *manomètre* qui accuse continuellement l'état de cette pression. Nous n'avons pas besoin de dire que le *manomètre à air libre* ne saurait être employé sur une locomotive, en raison de sa longueur et de sa fragilité. On se sert du *manomètre à air comprimé,* qui n'occupe qu'un petit espace. Cet instrument indique les variations de pression de la vapeur par suite de la hauteur qu'occupe une colonne de

mercure dans un tube à deux branches, fermé à l'une de ses extrémités, rempli d'air à son extrémité fermée et communiquant avec la vapeur par son extrémité ouverte. D'après une loi physique bien connue, l'air comprimé par une vapeur ou par un gaz occupe un volume qui est toujours en raison inverse de la pression qu'il supporte. Ainsi la hauteur à laquelle s'élève la colonne de mercure dans la branche fermée du tube fait connaître exactement la force élastique de la vapeur, exprimée en atmosphères, si l'on a gradué d'après ce principe l'échelle qui accompagne le tube.

Tels sont les principaux éléments qui composent la chaudière des locomotives. Ajoutons que tout l'ensemble de la chaudière et du foyer est fixé solidement sur un châssis de bois au moyen d'arcs-boutants de fer boulonnés d'un côté contre la chaudière, et de l'autre sur le châssis. Ce dernier porte sur les trois essieux des six roues de la locomotive, par l'intermédiaire d'un coussinet, d'une tringle et d'excellents ressorts. Tout ce système, construit avec beaucoup de soins et de délicatesse, adoucit les chocs et les ébranlements que l'appareil pourrait éprouver par suite de la marche de la locomotive sur les rails.

Appareil moteur. — Le mécanisme au moyen duquel on transmet aux roues l'action de la vapeur se trouve clairement indiqué dans la figure 34, qui représente l'élévation d'une locomotive à six roues semblable à celles qui desservent le chemin de fer de Paris à Rouen.

Les cylindres à vapeur, au nombre de deux, sont placés chacun sur un des côtés de la locomotive et à sa partie antérieure. L'un de ces cylindres est représenté sur la figure par la lettre A ; la pièce prismatique L qui le surmonte est le tiroir destiné à donner accès à la vapeur, et à la diriger tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston : ce tiroir est mis en action par un excentrique que porte l'essieu de la roue motrice ; un levier coudé HK, qui se déplace horizontalement,

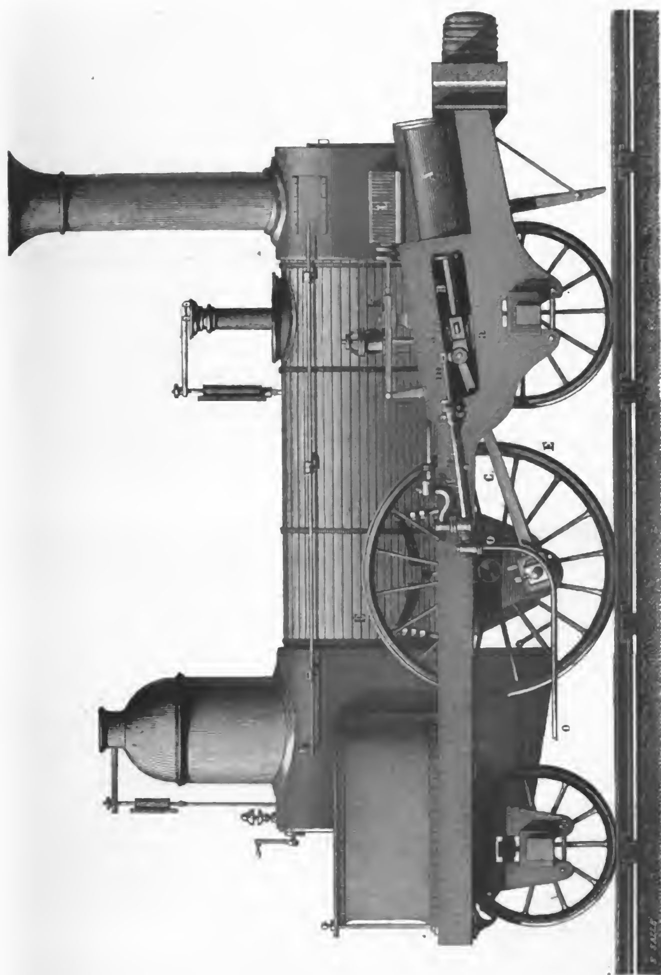


Fig. 34.

ouvre successivement, à l'intérieur du tiroir, deux orifices qui donnent accès à la vapeur sous les deux faces du piston. La tige B du piston se meut dans une rainure à l'aide de deux glissières *a* fixées à son extrémité. Cette tige est articulée à une longue bielle, ou tige C, qui vient agir sur un bouton D fixé à la roue E de la locomotive, à une certaine distance de son axe. La roue motrice de la locomotive fait ainsi elle-même fonction de volant. L'action de la vapeur s'exerce donc uniquement sur les deux grandes roues; les autres sont entrainées par le mouvement des roues motrices et ne servent qu'à l'équilibre et à la progression de la machine. Les deux bielles C, partant de chaque cylindre, sont disposées à angle droit l'une sur l'autre, de manière que leur mouvement soit croisé, et que l'une d'elles se trouvant au point le plus avantageux de sa course, l'autre se trouve au point le plus faible, c'est-à-dire au point mort, ainsi qu'on l'a expliqué pour les bateaux à vapeur.

Le mouvement imprimé à la tige du piston est mis à profit pour faire agir une pompe alimentaire qui va puiser de l'eau dans un réservoir porté par le tender. Cette pompe refoule de l'eau dans la chaudière, afin d'y remplacer à chaque instant celle qui disparaît constamment sous forme de vapeur. Toute la disposition mécanique de la pompe alimentaire est facile à reconnaître sur la figure. *m* représente la tige de cette petite pompe; elle est fixée à l'extrémité de la tige B du piston, et en reçoit son mouvement de va-et-vient. Cette tige *m* fait agir un petit piston placé dans l'intérieur du corps de pompe *n*, qui aspire, à l'aide du tuyau *o*, l'eau du tender. Refoulée dans le tuyau courbe P, cette eau s'introduit dans la chaudière, pour y remplacer celle qui s'échappe sans cesse dans l'atmosphère à l'état de vapeur.

Le tuyau *o*, dont on n'a représenté qu'une partie dans la figure, vient aboutir au tender, auquel il se trouve lié par un genou ou tuyau flexible. Le tender n'est autre chose, en

effet, qu'un wagon d'approvisionnement ; il porte l'eau et le coke nécessaires à l'alimentation de la machine pendant un certain temps. Monté, comme la locomotive, sur un châssis et sur des ressorts, il se compose d'un réservoir de tôle rempli d'eau qui laisse libre un espace au milieu duquel on entasse le combustible. Il porte habituellement 3 200 litres d'eau et 400 kilogrammes de coke, qui suffisent pour un voyage de dix à douze lieues ; au bout de ce temps, si la locomotive doit continuer sa route, on renouvelle la double provision du tender.

Un niveau d'eau formé d'un tube de verre disposé verticalement et communiquant avec l'intérieur de la chaudière, se trouve sous les yeux du mécanicien, qui peut ainsi s'assurer à chaque instant de la quantité d'eau contenue dans le générateur. Lorsque ce niveau vient à baisser, le mécanicien ouvre un robinet placé sur le trajet du tube *o*; l'eau du tender est aussitôt aspirée par les pompes ; si la quantité du liquide introduit est suffisante, il ferme le même robinet, et arrête ainsi l'entrée de l'eau dans la chaudière.

Nous venons d'examiner les différentes pièces qui composent la machine locomotive. Indiquons maintenant, afin d'en résumer l'ensemble, les opérations successives qu'il faut exécuter pour la gouverner et pour la faire agir.

Lorsque le mécanicien veut mettre la locomotive en marche, il commence par s'assurer, en examinant le manomètre, si la vapeur atteint le degré suffisant de pression. La tension de la vapeur étant reconnue convenable, il pousse la manivelle du régulateur, qui donne aussitôt accès à la vapeur dans l'intérieur du tuyau destiné à l'introduire dans les tiroirs. La vapeur passe de là dans les cylindres, et vient exercer sa pression alternative sur les deux faces du piston. Celui-ci entraîne la bielle qui fait tourner les roues motrices de la locomotive, et la fait avancer sur les rails en remor-

quant le tender et la série de wagons ou de voitures qui lui font suite, et qui sont solidement attachés les uns aux autres par un crochet et une chaîne de fer. Mais pendant que la machine fonctionne, le combustible se consume sur la grille, l'eau de la chaudière disparaît en partie, par suite de la dépense continuelle de vapeur. Le chauffeur jette donc de nouveau combustible dans le foyer, et le mécanicien remplace l'eau évaporée en ouvrant le robinet du tuyau *o*, qui, grâce à l'action des pompes foulantes, introduit dans la chaudière une partie de l'eau contenue dans le réservoir du tender. Si le tirage présente trop d'activité, ou si l'on veut ralentir la marche, le mécanicien, tirant une longue tige horizontale *cd* (page 415) qui s'étend sur l'un des côtés et vers la partie supérieure de la locomotive, déplace une plaque mobile *d*, laquelle, offrant une issue aux produits de la combustion, ralentit le tirage de la cheminée, et modère ainsi la puissance de la vapeur. Arrivé à une station, le mécanicien fait entendre un coup de sifflet, en dirigeant un jet de vapeur, empruntée à la chaudière, contre la tranche aiguë d'un timbre métallique qui se trouve placé au-devant de lui; il ferme ensuite le régulateur à l'aide de la manivelle: toute communication se trouve ainsi interrompue entre la chaudière et le cylindre; le jeu des pistons s'arrête aussitôt, et le convoi ne marche plus qu'en vertu de sa vitesse acquise. Ne pouvant s'échapper au dehors, la vapeur, qui se forme toujours, par suite de l'action du foyer, continue à exercer sa pression à l'intérieur; elle ne tarde pas à atteindre ainsi le degré de tension au terme duquel doivent s'ouvrir les soupapes de sûreté; ces soupapes cèdent en effet à la pression qu'elles éprouvent, et laissent la vapeur se dégager au dehors. En même temps, les conducteurs serrent les freins; la résistance devenant ainsi plus grande et la force motrice ne s'exerçant plus, la machine se trouve arrêtée.

Quand le mécanicien, arrivé au terme du voyage, veut éteindre le foyer, il se débarrasse de tout le combustible en démontant les barreaux de la grille mobile ; le coke incandescent tombe aussitôt sur la voie.

Il est nécessaire, pour les différentes manœuvres qui s'exécutent dans l'intérieur des gares ou même sur la voie, de faire marcher la locomotive en arrière. Ce mouvement se produit à l'aide d'un long levier qui se trouve à la portée du mécanicien, ce qui lui permet de *renverser la vapeur*, c'est-à-dire de modifier sa distribution dans les cylindres de manière à déterminer tantôt la marche en avant, tantôt la marche en arrière. Ce levier fait entrer en action un nouveau tiroir qui donne une distribution de vapeur précisément contraire à celle qui était en œuvre pendant la marche. La vapeur, qui avait commencé à agir, par exemple, sur la face antérieure du piston, se trouve dès lors dirigée vers sa face postérieure; un mouvement opposé à celui qui existait est la conséquence de ce renversement de la vapeur, et ce mouvement, une fois commencé, se continue de manière à entretenir la marche de la machine dans la direction nouvelle qu'elle vient de recevoir.

Nous ne pousserons pas plus loin ces détails descriptifs. Ils suffiront pour donner d'une manière générale l'intelligence du mécanisme moteur de la locomotive et des divers organes qui la composent.

Classification des locomotives. — Toutes les locomotives ne sont pas semblables par leurs dispositions à celle que l'on représente par la figure 35, c'est-à-dire ayant la roue motrice placée au milieu. Il existe plusieurs systèmes différents de ces machines motrices, et c'est ce qu'il nous reste à faire connaître, en donnant leur classification.

Les locomotives ont conservé jusqu'à l'année 1851 la forme représentée par la figure dont il vient d'être question, c'est-à-dire qu'elles avaient toujours leurs roues motrices placées au

milieu. Mais, à cette époque, un perfectionnement d'une haute importance, et qui permit d'augmenter d'une manière remarquable la vitesse de ces véhicules, fut apporté à la disposition de ces machines. Pour augmenter la vitesse d'un véhicule muni de roues, il suffit d'augmenter le diamètre de la roue, car le chemin parcouru dans un même temps s'accroît nécessairement par le développement total donné à la circonférence de la roue. On pouvait donc accroître la vitesse des locomotives en augmentant le diamètre des roues motrices; mais ce moyen avait ses limites. Comme la chaudière repose sur les essieux des roues, quand on augmente le diamètre des roues, on porte nécessairement plus haut la chaudière qui repose sur elles. Or, on ne peut dépasser une certaine élévation pour la chaudière, sous peine de compromettre l'équilibre et la stabilité de ce véhicule sur les rails. En 1851, on avait atteint les limites extrêmes auxquelles on pouvait porter sans danger l'élévation de la chaudière; il paraissait, par conséquent, impossible de pousser plus loin la vitesse imprimée aux convois de chemins de fer. Mais une inspiration très-heureuse venue à un ingénieur anglais, M. Crampton, permit de franchir la difficulté que nous venons de signaler. M. Crampton eut l'idée de placer les roues motrices à l'arrière de la chaudière et non au-dessous. Dès lors les roues motrices n'étant plus limitées dans leur accroissement, on put leur donner une hauteur considérable sans élever davantage le générateur de vapeur, et, par conséquent, accroitre, dans la même proportion, la vitesse des convois.

La *locomotive Crampton* est donc celle dans laquelle les roues motrices, placées à l'arrière, présentent un très-grand diamètre, et, par conséquent, permettent de réaliser des vitesses considérables. La première *machine Crampton* a été construite en 1851, dans les ateliers de Robert Stephenson, en Angleterre.

Ce genre de machines a été adopté pour la première fois en France en 1852, sur les chemins de fer du Nord et de l'Est. Les machines Crampton, qui permirent l'établissement régulier des *trains express* sur ces voies ferrées, donnèrent le moyen, dès l'année 1852, d'obtenir des vitesses normales de 75 à 80 kilomètres par heure, et qui peuvent atteindre jusqu'à 110 et même 120 kilomètres.

Après les locomotives réalisant les grandes vitesses, on distingue celles qui sont destinées à traîner, à des vitesses médiocres ou petites, des chargements très-considérables, et à remonter au besoin des pentes très-inclinées en remorquant de lourds convois : ce sont les locomotives dites *à petite vitesse* que l'on affecte au transport des marchandises. Une grande vitesse n'est pas, en effet, la seule condition à laquelle doive satisfaire un chemin de fer. Le transport des marchandises est, pour ces exploitations, un élément de trafic plus important encore que celui des voyageurs. Or, ce service exige des locomotives d'une construction spéciale, c'est-à-dire des machines assez puissantes pour traîner à elles seules les nombreux wagons que l'on rassemble dans un convoi très-considérable par sa longueur et son poids, dans le but de ne pas multiplier les trains, ce qui nuirait à la sécurité et à la facilité de la circulation sur la ligne. Les *locomotives à marchandises* doivent donc réunir des qualités toutes particulières de puissance pour développer, à une faible vitesse, un très-grand effort, et pour faire remonter les pentes les plus inclinées à des convois pesamment chargés.

Le problème des *locomotives à petite vitesse* avait été imparaitement résolu jusqu'à l'année 1854, époque à laquelle un ingénieur autrichien, M. Engerth, construisit les machines qui portent son nom, et qui sont aujourd'hui employées sur la plupart des chemins de fer à la traction des marchandises.

Dans les *machines Engerth*, le tender fait corps avec la locomotive et se trouve porté par le même couplage de roues : c'est une *machine-tender*. Une partie de la chaudière vient reposer sur le tender en portant sur l'essieu de ses premières roues. La locomotive, ou la machine proprement dite, repose sur quatre paires de roues ; trois sont *couplées* entre elles, c'est-à-dire reçoivent par des bielles le mouvement imprimé à l'une des roues par le piston des cylindres à vapeur ; elles agissent donc, à leur tour, comme roues motrices pour opérer la traction. La première paire de roues du tender reçoit également un mouvement de rotation qui lui est communiqué par la dernière roue de la locomotive. C'est au moyen de roues dentées, placées au-dessous de la chaudière, que s'exécute ce renvoi de mouvement, qui fait ainsi concourir une partie du tender à l'adhérence de tout le système.

D'après une disposition empruntée aux locomotives américaines, le tender est pourvu d'un système d'articulation, d'une sorte de cheville ouvrière analogue à celle qui sert à rendre mobile l'avant-train de nos voitures. Cette articulation a pour résultat de permettre à la machine de tourner indépendamment du tender, de pouvoir ainsi se plier jusqu'à un certain point aux sinuosités de la voie ferrée, et de pouvoir tourner avec les plus lourds convois dans des courbes d'un médiocre rayon.

La puissance énorme de traction propre au système de machines qui vient d'être décrit tient au poids total de la machine qui augmente l'adhérence sur les rails, multiplie les points d'appui et permet d'appliquer une grande puissance de vapeur.

Après les détails qui précèdent sur les différents systèmes de locomotive que les nécessités de l'exploitation des chemins de fer ont rendus indispensables, il sera facile de com-

prendre la division ou la classification que l'on peut établir entre les diverses locomotives qui sont consacrées au service des lignes ferrées.

Les locomotives peuvent se diviser en trois classes, selon la forme et la nature de leur service : les *machines à grande vitesse* ou *machines à voyageurs ;* les *machines à petite vitesse* ou *machines à marchandises,* et les *machines mixtes.*

Les machines affectées au transport des voyageurs marchent avec une vitesse moyenne de 45 kilomètres à l'heure, non compris les temps d'arrêt. Les locomotives de marchandises marchent seulement à la vitesse moyenne de 25 kilomètres à l'heure ; mais elles remorquent des convois très-considérables. Sur des chemins d'une pente faible et moyennement accidentés, elles peuvent, en effet, traîner jusqu'à cinquante wagons chargés de 10 tonnes de marchandises ; ce qui revient, avec le poids de la machine, à 700 ou 720 tonnes. Sur les chemins de niveau le poids remorqué pourrait s'élever jusqu'à 1 500 tonnes. Enfin, les machines mixtes, consacrées à remorquer les trains mixtes et omnibus, c'est-à-dire ceux qui s'arrêtent à toutes les stations et peuvent traîner à la fois des voyageurs et des marchandises, doivent réaliser, en moyenne, la vitesse de 35 kilomètres à l'heure.

Les locomotives à voyageurs, que l'on construit souvent aujourd'hui dans le système Crampton, sont montées sur six roues, la roue motrice se trouvant placée à l'arrière. Destinées à réaliser de grandes vitesses, elles se reconnaissent à leurs formes sveltes et élancées, qui rappellent celles du cheval de course. Au contraire, les machines à marchandises, destinées seulement à développer une grande puissance de traction, rappellent les caractères du cheval de trait : elles sont basses et comme ramassées ; elles sont traînées par de petites roues, pour développer un effort puissant plutôt que pour courir avec vitesse. Dans les machines

à marchandises, les roues sont en général presque toutes égales et *couplées*, c'est-à-dire liées l'une à l'autre au moyen d'une tige de fer pour se communiquer réciproquement leur mouvement de rotation. Le nombre de ces roues est de six à huit ; mais il est quelquefois de douze et peut s'élever jusqu'à quatorze. Quant aux locomotives mixtes, elles participent, dans une proportion variable, des deux machines précédentes ; elles inclinent vers l'un ou l'autre de ces types, selon les circonstances et les effets à produire. Elles sont ordinairement portées sur six roues, les grandes roues couplées se trouvant toujours placées à l'arrière, selon le système Crampton.

CHAPITRE V

Inconvénients attachés à l'emploi des locomotives. — Nouveaux systèmes de chemins de fer.

Le système des chemins de fer actuels ne date que de l'année 1830. Si l'on considère la marche si rapide qui distingue les sciences à notre époque, il est donc permis de dire que cette invention est encore aujourd'hui sinon dans son enfance, au moins dans ses débuts. Les tentatives faites de nos jours pour améliorer les conditions de ce nouveau mode de transport méritent, à ce titre, l'attention la plus sérieuse.

Dans les pages précédentes, on a fait la part des beaux résultats que réalise le système des chemins de fer actuellement en usage en Europe ; essayons maintenant de montrer les inconvénients qu'il peut entraîner.

Deux éléments sont à considérer dans le système actuel des chemins de fer : les rails et la locomotive, la voie ferrée

et l'instrument de traction. De ces deux éléments, l'un paraît avoir atteint son terme de perfection, l'autre est susceptible de modifications importantes. L'emploi de bandes métalliques destinées à annuler les effets du frottement des roues représente à nos yeux le point le plus parfait de ce mode de locomotion. Ces humbles barres de fer couchées sur la poudre des chemins, constituent le plus avantageux et le plus utile des deux éléments de ce système. Quant à la machine destinée à traîner les convois sur ces voies artificielles, elle est susceptible de plusieurs reproches aussi graves que fondés.

On peut classer sous deux titres les inconvénients qui découlent de l'emploi des locomotives : 1° défaut de sécurité ; 2° cherté excessive dans le tracé du chemin et le service journalier de la voie.

Quelle que soit l'efficacité des moyens de surveillance établis sur les chemins de fer, quelle que soit la perfection actuellement apportée à la construction des locomotives, l'emploi de ces machines expose à diverses chances d'accidents que l'on ne peut prévenir que dans de certaines limites. Quand on voit, sur un viaduc élevé, une série de wagons remplis de voyageurs, voler avec la rapidité d'une flèche sur des rails polis comme la glace, on ne peut se défendre d'un sentiment de terreur en songeant aux catastrophes que peut provoquer le plus faible obstacle rencontré sur la voie. Des événements terribles ont assez démontré que tous les moyens mis en usage ne suffisent pas toujours pour écarter ces dangers. L'expérience a tristement établi qu'il n'est point de surveillance assez parfaite pour empêcher, dans tous les cas, la rencontre et le choc de deux convois marchant en sens opposé ; l'attention des employés d'une ligne peut être distraite ou relâchée un moment, jusqu'à laisser s'engloutir dans le Rhône un convoi de marchandises, et quelques jours après un convoi de voyageurs dérailler à quelques

pas du même abîme. Il est d'autres catastrophes qu'il n'appartient à aucune puissance humaine de prévoir, et, par conséquent, d'empêcher. On ne le sait que trop, des centaines de voyageurs peuvent se précipiter, par suite d'un déraillement, dans les marais de Fampoux. Rien ne peut prévenir encore la rupture de l'essieu d'une locomotive, accident dont l'événement affreux du chemin de fer de Versailles offrit un exemple à jamais déplorable.

Le défaut de sécurité inhérent à l'emploi des locomotives frappe suffisamment l'esprit; mais les inconvénients, très-graves encore, résultant des dépenses qu'exigent l'établissement et l'entretien de la voie, attirent moins l'attention: aussi insisterons-nous davantage sur ce dernier fait.

Les dépenses considérables que nécessite l'établissement des chemins de fer, et qui ont compromis en tant de pays la fortune publique, reconnaissent deux causes : 1° le tracé du chemin ; 2° son exploitation.

D'après les principes mécaniques sur lesquels reposent la construction des locomotives et leur progression sur les rails, il est impossible de franchir des pentes d'une certaine inclinaison. Les locomotives ordinaires ne peuvent faire remonter aux convois des pentes de plus de 10 millimètres par mètre; pour surmonter une rampe plus forte, on est obligé d'employer une locomotive de renfort. Au delà de 30 millimètres, une locomotive ordinaire placée à la tête d'un convoi reculerait au lieu d'avancer. Aussi la rampe habituellément admise sur les chemins du fer est-elle seulement de 7 millimètres. En second lieu, le mode de construction adopté pour les locomotives et les wagons impose la nécessité de donner au tracé de la voie une direction constamment en ligne droite. Le parallélisme et la fixité des essieux, dans les wagons et la locomotive, commandent un tracé entièrement rectiligne, et ce n'est que par une dérogation aux principes de la progression et de l'équilibre de ces véhicules, que cer-

taines courbes sont adoptées. Ces courbes sont d'ailleurs d'un rayon tellement étendu, qu'elles présentent, sous le rapport pratique, autant d'inconvénients que d'avantages.

C'est cette double obligation de maintenir la ligne des rails sur un niveau toujours sensiblement horizontal, et d'adopter une direction rectiligne, qui entraîne tant de dépenses dans l'exécution de nos routes ferrées. C'est pour cela que l'ingénieur chargé d'exécuter le tracé d'un chemin de fer est contraint d'aller droit devant lui, élevant par des remblais les niveaux des terrains trop abaissés, franchissant les vallées sur de longs viaducs, se frayant un passage à travers les montagnes, bouleversant le sol autour de lui, s'écartant des points qu'il aimerait à traverser, traversant ceux qu'il voudrait éviter, changeant les cités en désert et les déserts en lieux habités. Cette inflexibilité aveugle imposée à la direction de nos lignes est la cause principale des dépenses excessives qu'entraîne leur exécution; c'est aussi le point profondément vicieux, nous dirions presque le côté barbare des chemins de fer actuels. Ces montagnes percées à jour, ces vallées comblés, ces longs viaducs joignant le sommet des collines, ces fleuves franchis sur un point forcé, ces étangs ou ces marais traversés sur des digues élevées à grands frais, ces longs trajets souterrains, ces sombres tunnels parcourant des lieues entières, et où le voyageur, enfoui dans les entrailles de la terre, privé du spectacle de la nature et du ciel, semble voir comme une image anticipée de son dernier séjour, tout cela rappelle singulièrement les débuts grossiers de l'art humain; et lorsque les générations futures viendront un jour contempler les débris et les vestiges abandonnés de ces travaux immenses, il est à croire qu'elles concevront quelque dédain de ces merveilles dont nous nous montrons si fiers.

L'emploi des locomotives introduit dans l'exécution des chemins de fer une autre source de dépenses importantes. L'énorme poids de la locomotive et de son tender oblige de

faire usage de rails très-lourds et d'établir des fondations d'une grande solidité. C'est pour résister au poids d'une machine pesant à elle seule 12 000 kilogrammes au moins, que l'on est contraint d'employer ces larges rails qui entrent pour une si grande part dans les frais d'établissement du chemin. Ce poids excessif de la locomotive offre un second inconvénient, c'est qu'il fait perdre la plus grande partie de la puissance développée par la vapeur. Dans un convoi ordinaire, près de la moitié de la force motrice est employée à traîner la locomotive et son tender. Cette perte, déjà si considérable, s'accroît encore quand le convoi remonte une pente, et, dans ce cas, la moitié de la puissance de la vapeur est uniquement employée à traîner la machine, et se trouve ainsi dépensée sans utilité pour le service.

L'exploitation quotidienne des chemins de fer entraîne une dernière part de dépenses très-onéreuses : nous voulons parler des frais de traction et de combustible. Sur le railway de Liverpool à Manchester, la dépense annuelle pour la locomotive et le charbon se trouve portée, d'après un compte rendu de l'administration, à environ 1 500 000 francs pour un transport de 121 872 kilogrammes par jour. Sur celui du Great-Western, la dépense du coke représente à elle seule 23 250 francs par semaine (1).

Frappés de l'évidence et de la gravité de ces faits, animés du désir de perfectionner une invention qui rend à la société de si éminents services, un grand nombre d'ingénieurs et de savants se sont appliqués, depuis plusieurs années, à la

(1) La considération des dépenses qui se lient à l'emploi des locomotives offre assez de gravité pour avoir autorisé quelques ingénieurs à conclure que les locomotives ne sont d'un usage avantageux que sur les lignes d'une grande étendue. Sur les chemins de fer d'un petit parcours il y aurait, selon eux, économie à se servir de chevaux. On donne le nom de *chemin de fer américain* à ces lignes ferrées qui commencent à se répandre en France pour les petits parcours, et sur lesquels la traction s'opère au moyen de chevaux. Un chemin de fer de ce genre est établi de Paris à Versailles.

recherche de moyens nouveaux susceptibles de réaliser avec plus de sécurité et d'économie les transports sur nos routes ferrées. De ces travaux est sortie une série de systèmes destinés, dans la pensée de leurs auteurs, à remplacer les moyens de locomotion actuellement en usage. Les différents procédés qui ont été proposés pour atteindre ce but peuvent se grouper comme il suit :

1° Le *système atmosphérique*. Dans ce nouveau système, on supprime la locomotive, et l'on opère la traction à l'aide de machines aspirantes qui font le vide dans un tube de fonte couché entre les rails au milieu de la voie.

2° Le *système hydraulique*, imaginé et essayé sur le chemin de fer de Dublin à Cork, par un ingénieur anglais, M. Shuttleworth, et sur lequel un très-habile ingénieur français, M. Girard, a plus tard rappelé l'attention. Dans ce système, on se propose de déterminer la progression des convois par une chute d'eau tombant d'une grande hauteur, et qui vient exercer une pression sur toute l'étendue d'une colonne d'eau contenue dans un tube disposé lui-même entre les rails sur tout le parcours de la voie.

3° Le *système des trains articulés* de M. Arnoux, qui fonctionne sur le chemin de fer de Paris à Orsay.

4° Le *système Jouffroy*, qui ne présente pas une création nouvelle dans son ensemble, et ne se compose que d'une série de modifications plus ou moins utiles apportées aux divers moyens mis en usage sur les chemins de fer actuels ; il est dû au fils du marquis de Jouffroy dont les travaux sur la navigation par la vapeur ont été exposés dans ce volume.

5° Enfin, le *système éolique*, dont l'idée appartient à M. Andraud. Dans ce nouveau système, on supprime la locomotive et l'on imprime le mouvement aux voitures par l'effet de la compression et du refoulement de l'air dans un tuyau flexible couché au milieu de la voie. Un tube de cuir, rendu imperméable par plusieurs enveloppes de caoutchouc, est disposé

tout le long de la voie entre les deux rails. Une voiture placée sur les rails repose sur ce tube, à l'aide d'une large roue de bois dont elle est munie. Quand on vient, en ouvrant un robinet, à introduire de l'air comprimé dans le tube, celui-ci, subitement gonflé, pousse en avant la voiture en faisant office de coin, et la lance sur les rails. Le réservoir d'air comprimé, qui consiste en un canal enfoui sous le sol, est établi sur le bord de la voie ; des machines à vapeur, disposées en nombre convenable sur l'étendue de la ligne, servent à condenser l'air dans ce réservoir (1). Dans le système de M. Andraud, on supprime la locomotive; on se met par conséquent à l'abri des inconvénients qu'entraîne le poids considérable de cet appareil moteur, et des dépenses qu'absorbe son entretien. On peut tourner sans difficulté les courbes du plus petit rayon ; les pentes ordinaires sont franchies sans obstacle, et si les rampes sont trop considérables, rien de plus simple que d'accroître la puissance motrice : il suffit d'augmenter les dimensions du tube propulseur. Cette faculté de tourner dans les courbes et de remonter certaines pentes simplifierait dans une proportion extraordinaire le tracé des chemins ; ces énormes remblais, ces nivellements de terrain, ces viaducs, ces tunnels, qui sont une source de dépenses incalculables dans le tracé des chemins de fer ordinaires, disparaîtraient à la fois : la terre, telle à peu près que Dieu l'a faite, suffirait aux modestes nécessités de ce système. Les procédés de M. Andraud pourraient difficilement s'appliquer à des lignes étendues ; mais ils donneraient peut-être de

(1) En raison de la faible intensité de la force motrice qui réside dans l'air comprimé, le système éolique ne pourrait servir à traîner de lourds convois composés d'une série de wagons: une seule voiture pourrait chaque fois être mise en marche. Cette disposition ne peut que rarement constituer un désavantage, et il y aurait au contraire une utilité marquée à établir sur les chemins de fer, au lieu de convois composés d'une douzaine de voitures partant trois ou quatre fois par jour, un transport régulier formé d'une seule voiture partant chaque cinq ou six minutes.

bons résultats pour des chemins d'un petit parcours, ou pour les embranchements des grandes lignes.

Tel est à peu près l'ensemble des principaux moyens que l'on a proposés depuis une dizaine d'années pour remplacer l'usage des locomotives. Il nous serait impossible d'entrer ici dans l'examen détaillé de chacun de ces systèmes. La plupart d'entre eux sont encore à l'étude, et n'ont reçu que d'une manière très-incomplète la sanction de l'expérience. Or, on ne peut juger avec certitude la valeur d'une invention de ce genre que lorsque, définitivement transportée dans la pratique, elle a permis d'apprécier, par le résultat d'une application quotidienne, ses avantages ou ses défauts. De tous les systèmes qui viennent d'être énumérés, deux ont été soumis à cet infaillible et sévère *criterium;* le *système des trains articulés* et le *système atmosphérique.*

Le *système des trains articulés*, imaginé par M. Arnoux, a été établi et fonctionne actuellement sur le chemin de fer de Paris à Sceaux et à Orsay. Il consiste à rendre mobiles les trains de devant de la locomotive et des wagons, de manière à permettre au convoi de tourner dans les courbes les plus petites, de suivre toutes les sinuosités de la route la plus infléchie. Ce mécanisme donne un résultat irréprochable pour les convois qui ne dépassent pas un certain poids, mais il ne peut s'appliquer pour les trains pesamment chargés, et tel est le défaut qui a empêché le système de M. Arnoux de se généraliser sur les lignes récemment construites.

Le *système atmosphérique* qui fut établi pour la première fois sur le chemin de fer de Kingston à Dalkey en Irlande, le 19 août 1843, fut adopté en 1847 par la compagnie du chemin de fer de l'Ouest, pour faire franchir aux convois l'énorme rampe qui s'étend du bois du Vésinet à la ville de Saint-Germain.

Le chemin de fer atmosphérique établi du bois du Vésinet au plateau de Saint-Germain, faisait suite au chemin de fer

ordinaire partant de Paris. Jusqu'au pont de Montesson, le trajet s'accomplissait sur l'ancien chemin de fer; le reste du trajet, jusqu'à Saint-Germain, se faisait sur le chemin atmosphérique. Ce changement de système s'effectuait rapidement. Arrivé à la station de Montesson, le train s'arrêtait, la locomotive passait derrière lui et le poussait au moyen d'un croisement de rails, sur la voie atmosphérique. On accrochait la première voiture du convoi au wagon directeur du chemin atmosphérique; aussitôt, sur un signal donné par le télégraphe électrique, les machines pneumatiques installées à Saint-Germain se mettaient à fonctionner. L'air du tube était aspiré en quelques instants, et le convoi se mettait en marche. Le trajet s'accomplissait en trois minutes. Le retour de Saint-Germain au pont de Montesson s'effectuait par le seul poids du convoi roulant sur la pente descendante. Le conducteur n'avait d'autre manœuvre à effectuer que de serrer les freins pour s'opposer à une trop grande accélération de vitesse. Arrivé à la station de Montesson, le convoi repassait sur la voie du chemin de fer ordinaire, et une locomotive tenue prête le ramenait à Paris.

Les dépenses énormes qu'exigea la construction de ce chemin, la difficulté de maintenir le vide dans le long tube propulseur, les frais considérables que nécessitait la traction au moyen du vide, et qui tenaient surtout à ce que les machines à vapeur faisant jouer les pompes aspirantes n'avaient à fonctionner qu'à des intervalles éloignés, ont montré tous les inconvénients inhérents à l'emploi de ce système. En 1859 tout le matériel du système atmosphérique a été supprimé et remplacé par de puissantes locomotives qui suffisent pour faire remonter les convois jusqu'au plateau de Saint-Germain.

Ainsi de tous les moyens proposés de nos jours pour remplacer le système actuel des chemins de fer, deux ont été mis à l'épreuve d'une expérience décisive, et ils se sont

montrés, sur tous les points, inférieurs au système actuel. Faut-il généraliser ce résultat, et de l'insuccès du système atmosphérique, conclure que tous les nouveaux procédés de locomotion récemment imaginés, soumis à la même épreuve, éprouveraient le même sort? La logique repousse cette conclusion absolue. Cependant le sentiment des hommes de l'art y incline manifestement; l'échec du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain a déterminé un retour favorable vers le système actuel des chemins de fer, et a fait envisager ses imperfections d'un œil plus indulgent. Gardons-nous d'ailleurs de porter un jugement sévère sur ces hésitations de la science. L'histoire nous apprend que chacune des grandes inventions de notre époque a dû traverser une période toute semblable de tâtonnements et d'incertitudes. Espérons seulement qu'il nous sera bientôt donné de la franchir, et qu'une solution décisive de ce grand problème viendra porter à son plus haut degré de perfection l'invention admirable qui a déjà rendu au monde tant et de si précieux services.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER.

MACHINE A VAPEUR.. 1

CHAP. Ier. — Notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge 1

CHAP. II. — Création de la méthode scientifique. — Bacon, Descartes et Galilée. — Salomon de Caus, sa vie et ses écrits ; sa prétendue découverte de la machine à vapeur.............. 13

CHAP. III. — Le Père Leurechon. — Branca. — L'évêque Wilkins. — Le Père Kircher. — Le marquis de Worcester................ 33

CHAP. IV. — Naissance de la physique moderne. — Découvertes de Torricelli et de Pascal. — Expérience de Périer sur le Puy-de-Dôme. — Invention de la machine pneumatique. — Application de ces découvertes à la création d'un moteur universel.... 45

CHAP. V. — Denis Papin. — Sa vie et ses travaux.............. 64

CHAP. VI. — Machine de Savery. — Newcomen et Cawley. — Machine à vapeur atmosphérique de Newcomen............... 102

CHAP. VII. — Perfectionnements apportés à la machine de Newcomen. — Progrès de la physique touchant la théorie de la chaleur. — Découverte du thermomètre. — Travaux de Black sur la chaleur latente et la vaporisation......................... 119

CHAP. VIII. — James Watt. — Ses découvertes concernant la machine à vapeur. — Ses expériences théoriques. — Découverte du condenseur isolé. — Machine à simple effet. — James Watt et le docteur Roebuck. — Association de Boulton et de Watt. — Nouvelles découvertes de Watt pour l'application de la machine à vapeur aux usages généraux de l'industrie. — Machine à double effet. — Parallélogramme articulé. — Application de la manivelle à la transformation du mouvement. — Régulateur à force centrifuge. — Découverte de la détente de la vapeur...... 132

CHAP. IX. — Dernières années de James Watt. 161

CHAP. X. — Perfectionnement et progrès de la machine à vapeur depuis Watt jusqu'à nos jours. — Machine de Wolf. — Machine à haute pression. — Historique de la découverte des machines à haute pression. — Leupold. — Oliver Evans. — Machine du Cornouailles, ou perfectionnement de la machine à simple effet. — Vulgarisation de la machine à vapeur. — Ses progrès en France. — Derniers perfectionnements. — Machines à vapeurs combinées. — Machines à vapeur régénérée. — Machine Éricsson. 172

CHAP. XI. — Tableaux des principaux systèmes de machines à vapeur employées comme machines fixes dans les usines. — Classification des machines à vapeur. — Machine à condenseur et machine sans condenseur. — Machines à simple effet et machines à double effet. — Machines fixes, machines de navigation, locomotives et locomobiles. — Types des principaux systèmes : Machine de Watt. — Machine de Wolf. — Machines à cylindre horizontal. — Machines oscillantes. — Machines rotatives. — Principes nouveaux sur l'emploi de la vapeur comme force motrice 191

CHAP. XII. — Description des principaux organes des machines à vapeur en général. — Les chaudières. — Les soupapes de sûreté. — Les manomètres. — Le flotteur d'alarme, etc. 214

LES BATEAUX A VAPEUR 235

CHAP. Ier. — Premiers essais de navigation par la vapeur exécutés en France par le marquis de Jouffroy. — Tentatives antérieures. — Papin. — Savery. — J. Dickens. — Bernouilli. — Le chanoine Gauthier de Nancy. — Expériences sur le Doubs avec l'appareil palmipède. — Les bateaux à roues. — Ancienneté des roues appliquées à la navigation. — Leur emploi proposé au dix-huitième siècle. — Expériences faites à Lyon avec le bateau à roues du marquis de Jouffroy. 235

CHAP. II. — Essais de Patrick Miller, James Taylor et William Symington, en Écosse, sur la navigation au moyen de la vapeur. . . 261

CHAP. III. — Essais de Fitch et de Rumsey en Amérique. — Premiers travaux de Fulton en Europe. 269

CHAP. IV. — Premier bateau à vapeur construit par Fulton en Amérique. — Premier voyage du *Clermont*. — Progrès de la marine à vapeur aux États-Unis. — Mort de Fulton. 302

CHAP. V. — La navigation par la vapeur transportée en Europe. — Son établissement en Angleterre. — La *Comète* de Henri Bell en Écosse. — Service régulier de bateaux à vapeur établi en Angleterre. — Les bateaux à vapeur appliqués aux transports sur

mer. — Premiers essais de navigation à vapeur en France. — Le premier bateau à vapeur venu à Paris.................... 312

CHAP. VI. — La navigation transatlantique. — Premières tentatives : — Voyage du *Savannah* et de l'*Entreprise*. — Voyage transatlantique du *Great-Western* et du *Sirius* en 1816. — Derniers progrès de la navigation à vapeur jusqu'à notre époque........ 327

CHAP. VII. — Description des machines à vapeur employées à bord des bateaux et des navires. — *Moyens divers de propulsion.* — Les roues à aubes. — L'hélice. — Histoire des perfectionnements successifs de l'hélice appliquée à la propulsion des navires. — Paucton. — Delisle. — Bushnell. — Charles Dallery. — H. Smith. — Sauvage. — Éricsson. — Adoption générale de l'hélice. — *Différents types de machines à vapeur employés dans la navigation.* — Les chaudières des machines de navigation.. 342

LES CHEMINS DE FER.. 374

CHAP. Ier Premières idées concernant la locomotion par la vapeur. — Le docteur Robinson. — James Watt. — Voiture à vapeur de l'ingénieur français Cugnot. — Construction des premières machines à haute pression par Oliver Evans. — Application de ces machines à la locomotion sur les routes ordinaires. — Voiture à vapeur d'Oliver Evans. — Diligence à vapeur de Trevithick et Vivian.................................. 374

CHAP. II. — Origine des chemins à rails. — Chemins à rails de bois des mines de Newcastle. — Chemins à rails de fer. — Emploi de la locomotive de Trevithick et Vivian sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil. — Erreur théorique sur la progression des locomotives. — Systèmes de MM. Blenkinsop, Chapman et Brunton. — Expériences de M. Blackett. — Progrès dans la construction des locomotives. — Découverte de la chaudière tubulaire par M. Séguin aîné. — Création des locomotives actuelles. 383

CHAP. III. — Origine du chemin de fer de Liverpool à Manchester. — Adoption des machines locomotives pour le service de ce chemin. — Concours de locomotives à Liverpool. — La *Fusée* de Robert Stephenson. — Établissement définitif des chemins de fer dans la Grande-Bretagne et dans les autres parties de l'Europe.. 396

CHAP. IV. — Description de la machine locomotive.............. 407

CHAP. V. — Inconvénients attachés à l'emploi des locomotives. — Nouveaux systèmes de chemins de fer.................... 424

CORBEIL, typogr. et stéréot. de CRÉTÉ.

